

Производственно-технический журнал

СВАРЩИК

№ **6** 2017

В РОССИИ

технологии — производство — ремонт

TECHNOLOGY FOR THE WELDER'S WORLD

10 Производство
в России 
лет

Поздравляем
с Новым годом и
Рождеством Христовым!

Разработанная в соответствии
с последними требованиями технологии
автоматизированной сварки –
Антикрэш система SAT3

ООО «АБИКОР БИНЦЕЛЬ
Сварочная Техника»
129343, г. Москва, ул. Уржумская, д. 4
Тел.: (495) 221-84-81, 221-84-82,
факс: (495) 510-64-70,
E-mail: binzel-abicor@yandex.ru
www.binzel-abicor.ru
www.binzel-abicor.com

ABICOR
BINZEL® 

6 (70) 2017

Журнал выходит 6 раз в год.

Издается с мая 2006 г.

Подписной индекс **20994**
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **E20994**
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

Подписной индекс **K0103** в каталоге
российской прессы «Почта России» —
персональная подписка

Производственно-технический журнал

СВАРЩИК

№ 6 2017

В РОССИИ

СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологий 4



Технологии сварки трением

Сварка металлов и сплавов трением. Технологические возможности конвенционной и инерционной сварки трением.

Г.И. Лащенко 6



Технологии ремонтной сварки

Оценка технологической наследственности металла массивных конструкций перед их ремонтной сваркой.

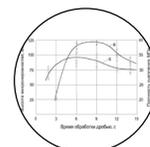
В.И. Панов 12



Дефекты в наплавленном металле

Дефекты в наплавленном металле, их происхождение и меры борьбы с ними. Несплавления, непровары, отклонения формы и размеров, и другие дефекты.

И.А. Рябцев, И.И. Рябцев, А.А. Бабинец, Э.В. Турык 15



Технологии плазменного напыления

Оптимизация процесса плазменного напыления токоведущей проволокой.

О.Г. Быковский, А.Н. Лаптева, Д.В. Строгонов, Н.П. Пасько 18



Технологии и оборудование

Автоматизация сварки неповоротных стыков трубопроводов.

Н.М. Махлин, Н.С. Федоренко, В.Ю. Буряк, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Д.С. Олияненко, А.Е. Коротынский, М.И. Скопюк 20



Наши консультации 32

Выставки

Результаты участия в выставке «Schweissen & Schneiden 2017» специалистов ИЭС им. Е.О. Патона 35

Календарь выставок в России на 2018 год 39



News of technique and technologies 4

Technologies of friction welding

Welding of metals and alloys by friction. Technological possibilities of conventional and inertial friction welding.
G.I. Lashenko 6

Technologies of repair welding

Evaluation of the technological strain of metal of massive structures before their repair welding.
V.I. Panov 12

Defects in the weld metal

Defects in the weld metal, their origin and measures to combat them. Non-melting, not welded, deviation of shape and size, and other defects
I.A. Ryabtsev, I.I. Ryabtsev, A.A. Babinets, E.V. Turyk 15

Technologies of plasma spraying

Optimization of the process of plasma spraying with current-carrying wire.
O.G. Bykovskiy, A.N. Lapteva, D.V. Strogonov, N.P. Pas'ko 18

Technologies and equipment

Automation of welding of non-rotating joints of pipelines
N.M. Makhlin, N.S. Fedorenko, V.Yu. Buryak, V.E. Vodolazskiy, V.E. Popov, D.S. Oliyanenko, A.E. Korotynskiy, M.I. Skopyuk 20

Our consultations 32

Exhibitions

Results of participation in the exhibition «Schweissen & Schneiden 2017» specialists of the E.O. Paton EWI. 35
Calendar of exhibitions in Russia on 2018. 39

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-24185 от 25.04.2006, выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

Издатель ООО «Центр трансфера технологий Института электросварки им. Е. О. Патона», ООО «Специальные сварочные технологии»

Тел. моб. +7 903 795 18 49

E-mail ctt94@mail.ru

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редактор О. А. Трофимец

Верстка и дизайн А. В. Рябов

За достоверность информации и содержание рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции.

Рукописи не рецензируются и не возвращаются. Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать статьи. Переписка с читателями — только на страницах журнала.

При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик в России» обязательна.

Подписано в печать 11.01.2018. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC. Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8». Заказ № П00000 от 11.01.2018. Тираж 1000 экз.

Издание выходит при содействии производственно-технического журнала «Сварщик»

Учредители Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, ООО «Технопарк ИЭС им. Е. О. Патона»

Издатель НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редакционная коллегия В. А. Белинский, Ю. К. Бондаренко, А. В. Вавилов, Ю. В. Демченко, В. М. Илюшенко, Г. И. Лашенко, О. Г. Левченко, В. М. Литвинов, Л. М. Лобанов, А. А. Мазур, В. И. Панов, П. П. Проценко, С. В. Пуустовйт, И. А. Рябцев, А. А. Сливинский

Адрес редакции 03150, Киев, а/я 337

Телефон +380 44 200 53 61, 200 80 18

Тел./факс +380 44 200 80 14

E-mail welder.kiev@gmail.com
trofimits.welder@gmail.com

URL <http://www.welder.stc-paton.com>

Подписка-2018

Подписной индекс **20994**
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **E20994**
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

Подписной индекс **K0103**
в каталоге российской прессы
«Почта России» — персональная подписка

Сварка металлов и сплавов трением. Технологические возможности конвенционной и инерционной сварки трением.

Г. И. Лащенко.

Приведены достоинства конвенционной и инерционной сварки трением деталей сплошного или трубчатого сечения типа тел вращения. Дана характеристика свариваемости материалов при указанных способах сварки трением. Показано, что дальнейшее развитие технологии сварки трением разнородных материалов связано с поиском оптимальных температурно-скоростных условий деформирования за счет использования различных технологических приемов и оборудования. Приведены общие характеристики оборудования для сварки трением. Показано, что широкое промышленное использование конвенционной и инерционной сварки трением обусловлено высокой экономической эффективностью за счет экономии материалов, обеспечения высокой размерной точности и качества соединений, высокой производительности и возможности соединения трудносвариваемых металлов, снижения капитальных затрат и расхода электроэнергии.

Оценка технологической наследственности металла массивных конструкций перед их ремонтной сваркой.

В. И. Панов

Приведены результаты и выработаны рекомендации выполнения ремонтной сварки с учетом предыстории технологической наследственности металла массивной конструкции для каждого конкретного случая. Это позволяет управлять процессом ремонтной сварки и находить оптимальные пути ее выполнения, обеспечивая, тем самым, длительную работоспособность восстановленной массивной металлоконструкции.

Дефекты в наплавленном металле, их происхождение и меры борьбы с ними. Полости. Включения.

И. А. Рябцев, И. И. Рябцев, А. А. Бабинец, Э. В. Турык

Проведен обзор разных групп дефектов наплавленных слоев, причин их образования и мер, предотвращающих их образование. Описаны причины образования и методы борьбы с несплавлениями, непроварами, отклонениями формы и размеров наплавленных валиков и др. дефектов, характерных для наплавки. Проведенный анализ подтвердил возможность классификации этих дефектов в соответствии с международным стандартом ISO 6520-1:2007 и его аналогом ГОСТ Р ИСО 6520-1:2012.

Автоматизация сварки неповоротных стыков трубопроводов.

Н. М. Махлин, Н. С. Федоренко, В. Ю. Буряк, В. Е. Водолазский, В. Е. Попов, Д. С. Олияненко, А. Е. Коротынский, М. И. Скопюк

Представлены результаты работ ИЭС им. Е. О. Патона и НИЦ СКАЭ по созданию, внедрению и модернизации разработанных технологий и оборудования для автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов (GTAW) неповоротных стыков трубопроводов диаметром от 7 до 76 мм с толщиной стенки до 3,0 мм из сталей аустенитного класса и до 2,5 мм из сталей перлитного и мартенситного классов, высоколегированных сплавов, цветных металлов и сплавов. Показаны преимущества технологий GTAW для получения соединений деталей трубопроводов в сравнении с применяемыми технологиями ручной сварки таких соединений. Рассмотрены особенности работы разработанного отечественного оборудования для GTAW неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов, а также перспективы дальнейшего совершенствования этого оборудования.



В России создали технологию получения уникальных сплавов для авиации

В России разработали технологию, позволяющую получать уникальные магниевые сплавы для машиностроения и авиакосмической промышленности.

Магниевые сплавы отличаются высокой химической активностью в расплавленном состоянии. Это делает невозможным их плавку на воздухе без специальных защитных мер. Чтобы исключить контакт поверхности расплава с воздухом наносится флюс. Материаловеды НИТУ «МИСиС» предложили использовать в качестве основы флюса уральский карналлит.

Уникальный флюс обеспечивает хорошую растекаемость по поверхности сплава и полное отсутствие брака по солевым включениям. В промышленных масштабах использование данной технологии позволяет снизить стоимость магниевого литья на 20–30% и повысить его коррозионную стойкость.

«Применение созданной в НИТУ «МИСиС» совместно с индустриальным партнером ООО «ОК СТРОЙБИС» технологии поможет исключить об-



разование содержащих токсичный барий шлаков, улучшить качество производимого магниевого сплава, повысить его конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках и увеличить импортозамещение в авиакосмическом и автомобильном секторах российской промышленности», — рассказал ведущий инженер Центра инжиниринга промышленных технологий НИТУ «МИСиС» Антон Наливайко.

www.misis.ru

● #1057

Новая установка безотходного производства для черной и цветной металлургии

Более 95% выпускаемого в мире чугуна производится в доменных печах. Это мощные агрегаты, выдающие в сутки тысячи тонн металла. Но обычные доменные печи требуют подготовленного высококачественного сырья, перерабатывать отходы в них технологически и экономически нецелесообразно.

Ученые Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» и предприятие «Вторалюминпродукт» ввели в эксплуатацию в г. Мценск установку производства чугуна и концентрата цветных металлов из техногенных отходов.

Инновационная печь построена на барботажном принципе, в основе которого лежит подъем пузырей газа в расплаве. Конечной целью процесса является восстановление расплава со смешанным составом до чистого чугуна. Сначала в печи при температуре 1400–1500 °С железорудный концентрат превращается в расплав, который продувают газообразным монооксидом углерода с примесями диоксида углерода и азота. Образующиеся при этом пузырьки значительно ускоряют химические процессы в ванне и интенсивно перемешивают железистый расплав и шлак.

Разработчики усовершенствовали технологию «Ромелт», созданную в СССР на базе МИСиС еще в 1980-е гг., разделили реактор на две зоны: плавильную и восстановительную. На поверхность ванны расплава подаются железосодержащие материалы, энергетический уголь, флюсующие добавки. Уголь при этом вовлекается шлаковыми потоками в ниж-



ние зоны ванны, где за счет кислородного потока происходит его горение с выделением CO₂ и паров воды. Далее расплав перетекает в восстановительную зону, где происходит его окончательное восстановление до чугуна.

Состав шлака может быть подобран для последующей переработки в шлакокаменные изделия, теплоизоляционную шлаковату, выпуска промежуточных продуктов при производстве цемента. Еще одним преимуществом новой установки является сниженный удельный расход энергии. За счет уникальной конструкции агрегата расходы энергоносителей могут быть доведены до 500 кг угля и 500 м³ кислорода на одну тонну получаемого чугуна. В результате перерабатываются бросовые техногенные отходы и получают чугун, товарный шлак и концентрат цветных металлов. Отходов в новой российской технологии нет!

www.rus.vrw.ru

● #1058

Сварочный полуавтомат Fronius TransSteel 2200

Компактное и универсальное решение 3 в 1 – сварочный полуавтомат Fronius TransSteel 2200. Аппарат способен работать в режимах MIG/MAG+MMA+TIG. Основными особенностями TransSteel 2200 являются: продуманная конструкция, простота использования, надежность и стойкость к реальным условиям эксплуатации. Малый вес и габариты аппарата благоприятно влияют на сварку в труднодоступных местах.

Полуавтомат имеет ударопрочный корпус (560x215x370 мм); питание 220 В; в исполнении MV 120 В или 220 В-20%+15%, спецразъем для быстрой замены кабеля питания Fronius Power Plug; защита от перегрузок до 400 В для надежной работы от генераторов; система PFC (корректировка коэффициента нагрузки) обеспечивает пониженную нагрузку на сеть и возможность использования длинных питающих проводов; резонансный инвертор мгновенно осуществляет регулировку параметров дуги и идеальное поддержание режимов сварки; сварочный ток 10–210 А: ПВ 100% – 160 А, 30% – 210 А; скорость подачи проволоки 1,5–18 м/мин; потребляемая мощность 3,26 кВА; синергетическое управление; оптимизирован под тонкие проволоки 0,8; 1,0 мм для стали и 1,2 для алюминия; 2 ячейки памяти для хранения параметров режима; компактный 2-х роликовый привод с конструкцией, предотвращающей смятие проволоки; функция прерывистой и точечной сварки.



Технические характеристики Fronius TransSteel 2200

Сварочный ток, А	10–210
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,5–18
Габаритные размеры, мм	560x215x370
Напряжение холостого хода, В	90
Напряжение питающей сети, В	220
Тип сварки	MMA/TIG/MIG-MAG
Потребляемая мощность, кВт	5,9
Режим работы (ПН), %	35
Диаметр сварочной проволоки, мм	0,6–1,2

В среде специалистов аппараты Fronius ассоциируются с качеством и надежностью, позволяя воплощать в жизнь проекты любой сложности.

www.svarkamall.ru

● #1059

Производство изостатического графита

Компания «Донкарб Графит» из Ростовской области (входит в группу «Энергопром» (ЭПМ)) запустила на базе Челябинского электродного завода производство изостатического графита. Ранее он закупался за границей – в Японии, США, Германии и Китае.

Модернизация производства завершилась пуском горизонтального автоклава для пропитки угольных заготовок пеком и получения графитовых стержней, из которых затем вытачиваются изделия для различных отраслей промышленности.

В следующем году компания намерена нарастить мощности по производству изостатического графита до 400 т в год. Также в планах – выпустить первые 70 т изостатического графита новой марки ИГ-175 – еще более высокой плотности и прочности.

Изостатический графит, в отличие от обычного, более плотный и прочный. Он способствует увеличению срока службы и повышает характеристики изделий металлургии и машиностроения.

«Теперь мы готовы заменить качественным отечественным продуктом аналоги из Японии, США, Германии и Китая» – рассказал директор «Донкарб Графит». «Предприятие осваивает ряд перспектив-

ных направлений. Все новое оборудование обеспечивает максимальную защиту окружающей среды Южного Урала».

Группа ЭПМ – ведущая российская компания, специализирующаяся на выпуске углеграфитовой продукции. До половины продукции экспортируется в 50 стран мира. В группу ЭПМ входят три крупнейших электродных завода – Челябинский, Новосибирский и Новочеркасский, а также ООО «Донкарб Графит» с площадками в Новочеркасске и Челябинске.

ООО «Донкарб Графит» – единственный производитель реакторного графита в стране (доля реализации 64%) и продукции из силицированного графита по Гособоронзаказу (4%).

Основные потребители продукции предприятия – крупные российские компании в таких отраслях, как атомная энергетика, металлургия, машиностроение, нефте- и газодобыча, электродная и химическая промышленность.

www.doncarb.com

● #1060

Сварка металлов и сплавов трением. Технологические возможности конвенционной и инерционной сварки трением*

Г.И. Лашенко, канд. техн. наук, НТК «ИЭС им. Е.О. Патона» НАНУ (Киев)

При сварке трением деталей сплошного или трубчатого сечения типа тел вращения наиболее широко в промышленности применяют конвенционную (обычную) и инерционную сварку. В случае конвенционной сварки предпочтение отдают технологии, при которой две детали, подлежащие сварке, устанавливаются соосно в зажимах машины: одна из них неподвижна, а другая приводится во вращение вокруг их общей оси.

При инерционной сварке трением стык нагревается за счет энергии, запасенной в предварительно раскрученном до определенной угловой скорости маховике. Скорость маховика в процессе превращения накопленной в нем кинетической энергии в тепловую падает до нуля. Давление в течении всего цикла сварки сохраняется постоянным.

Особенности образования соединения при конвенционной и инерционной сварке рассмотрены в предыдущей публикации («Сварщик в России» № 3–2017).

Многолетний производственный опыт использования сварки трением показывает, что инерционный способ сварки, также как и обычный, имеет свои достоинства и недостатки. К несомненным достоинствам конвенционной (обычной) сварки трением следует отнести возможность получения с ее помощью сварных соединений, строго регламентированных по длине.

При инерционной сварки энергия, накапливаемая в маховике, строго дозировано передается свариваемым деталям, осевые размеры соединений зависят от тщательности подготовки соединяемых поверхностей и от допусков на размеры внешнего диаметра заготовок.

Машины инерционной сварки потребляют намного меньше электроэнергии, чем машины для конвенционной сварки и отличаются более высокой производительностью. При инерционной сварке максимальная температура, как правило, не превышает температуру начала размягчения металлов, а пиковые температуры в стыке наблюдаются лишь в течение очень короткого времени.

Эти особенности инерционной сварки дают возможность существенно расширить диапазон свариваемых материалов.

Применение комбинированного способа сварки трением (конвенционного и инерционного) является естественным направлением дальнейшего совершенствования этого процесса.

Номенклатура свариваемых материалов.

Сваркой трением успешно соединяют не только многие однородные металлы и сплавы, но и материалы, резко отличающиеся по своим механическим и теплофизическим характеристикам, а также материалы, вступающие в процессе совместного нагрева в химическое взаимодействие и образующие хрупкие интерметаллидные соединения.

С позиций свариваемости все материалы или пары материалов разделяют на три группы: хорошо свариваемые материалы; условно свариваемые материалы (соединение которых обеспечивается специальными конструктивными или технологическими мерами); материалы, не свариваемые даже с использованием дополнительных конструктивных или технологических мер.

Общая оценка свариваемости материалов различных групп конвенционной сваркой трением приведена на *рис. 31*. Характеристики свариваемости различных материалов, сваренных инерционной сваркой трением, представлены на *рис. 32*.

Для получения соединения трудносвариваемых материалов применяют принудительное формирование соединений с помощью матриц. Несвариваемые материалы иногда удается соединять с помощью прослойки, хорошо сваривающейся с материалами обеих деталей, подлежащих соединению.

В соединениях, выполненных сваркой трением, металл обычно имеет измельченную структуру, что предопределяет высокие механические характеристики соединения. Однако после сварки в ряде случаев применяют дополнительную термообработку.

Термический цикл сварки трением более мягкий, чем при стыковой контактной сварке. В то же время при некоторых режимах конвенционной и особенно инерционной сварки углеродистых и легированных сталей существенно повышается

* Продолжение публикации серии статей «Сварка металлов и сплавов трением». Начало в № 1, 2, 3, 4, 5–2017.

Систематизация материалов по группам свариваемости

	Сплавы меди	Медь	Сплавы алюминия	Алюминий	Быстрорежущие стали	Аустенитные хромоникелевые стали	Мартенситные хромистые стали	Легированные улучшенные стали (C > 0,35%)	Легированные улучшенные стали (C ≤ 0,35%)	Легированные цементруемые стали	Нелегированные улучшенные стали (C > 0,35%)	Нелегированные улучшенные стали (C ≤ 0,35%)	Нелегированные цементруемые стали	Конструкционные стали (C > 0,35%)	Конструкционные стали (C ≤ 0,35%)
Конструкционные стали (C ≤ 0,35%)		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Конструкционные стали (C > 0,35%)		○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Нелегированные цементруемые стали		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Нелегированные улучшенные стали (C ≤ 0,35%)		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Нелегированные улучшенные стали (C > 0,35%)					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Легированные цементруемые стали			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Легированные улучшенные стали (C ≤ 0,35%)						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Легированные улучшенные стали (C > 0,35%)						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Мартенситные хромистые стали							○	○	○	○	○	○	○	○	○
Аустенитные хромоникелевые стали				○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Быстрорежущие стали					○										
Алюминий		○	○	○	○										
Сплавы алюминия			○	○	○										
Медь	○	○													
Сплавы меди	○														

X - хорошо свариваемые
 ○ - условно свариваемые
 □ - несвариваемые или не исследованные

Рис. 31. Систематизация материалов по группам свариваемости

	Алюминий и сплавы	Латунь	Бронза	Цементитн. карбиды	Кобальтовые сплавы	Ниобий	Медь	Медь-никель	Свинец	Магниеые сплавы	Молибден	Никелевые сплавы	Сплавы стальные	Углерод. сталь	Механ. обраб. сталь	Стар. мартенс. сталь	Спеч/а. сталь	Нержавеющие стали	Инструмент. стали	Тантал	Титановые сплавы	Вольфрам	Матер. клапанов	Циркониев. сплавы		
Алюминий и сплавы	■																									
Латунь		■																								
Бронза			■																							
Цементитн. карбиды				■																						
Кобальтовые сплавы					■																					
Ниобий						■																				
Медь							■																			
Медь-никель								■																		
Свинец									■																	
Магниеые сплавы										■																
Молибден											■															
Никелевые сплавы												■														
Сплавы стальные													■													
Углерод. сталь														■												
Механ. обраб. сталь															■											
Стар. мартенс. сталь																■										
Спеч/а. сталь																	■									
Нержавеющие стали																		■								
Инструмент. стали																			■							
Тантал																				■						
Титановые сплавы																					■					
Вольфрам																						■				
Матер. клапанов																							■			
Циркониев. сплавы																								■		

■ Полная металлургическая прочность сварного шва (в некоторых случаях требуется соответствующая термообработка для получения полной прочности).
 ▣ Интерционная сварка возможна, но некоторые или все сварные швы не будут иметь полной прочности.

Рис. 32. Сочетания материалов, соединяемых интерционной сваркой трением (по данным фирмы «Катерпиллар Трактор Ко»)

твердость сварного соединения, что может приводить к образованию трещин и даже разрушений. Кривые распределения температуры в зоне соединения при конвенциональной и инерционной сварке трением стали 60 и распределение твердости в зоне сварки показаны на *рис. 33*.

В то время как при конвенциональной сварке трением зона влияния температуры свыше 873 К имеет ширину более 10 мм, то при инерционной сварке эта зона не более 1–3 мм. Аналогичные различия имеются и в распределении твердости (*рис. 33, б*).

Величина и характер распределения температуры в зоне соединения определяют величину и характер пластической деформации свариваемых металлов. При этом возможность образования качественного соединения зависит не только от величины осевой деформации детали, но и существенно определяется скоростью пластического течения в зоне контакта.

В общем случае структура металла соединения зависит от природы свариваемых материалов, температурно-скоростных условий деформирования, физико-химического состояния контактных поверхностей, особенностей фазовых и структурных превращений при контактном термометформационном цикле и др. факторов.

Необходимость и целесообразность термической обработки соединений различных сталей оценивают на основе значений углеродного эквивалента $C_{экв}$. При $C_{экв} = 0,2-0,4\%$ термическая обработка не требуется, при $0,4-0,5\%$ — она необходима, при $0,8\%$ ее необходимо выполнять из нагретого состояния.

Многолетняя практика применения конвенциональной и инерционной сварки трением позволила накопить большой опыт промышленного использования сварки трением различных одноименных, а также разноименных материалов и сплавов.

Равнопрочные соединения получают при сварке одноименных

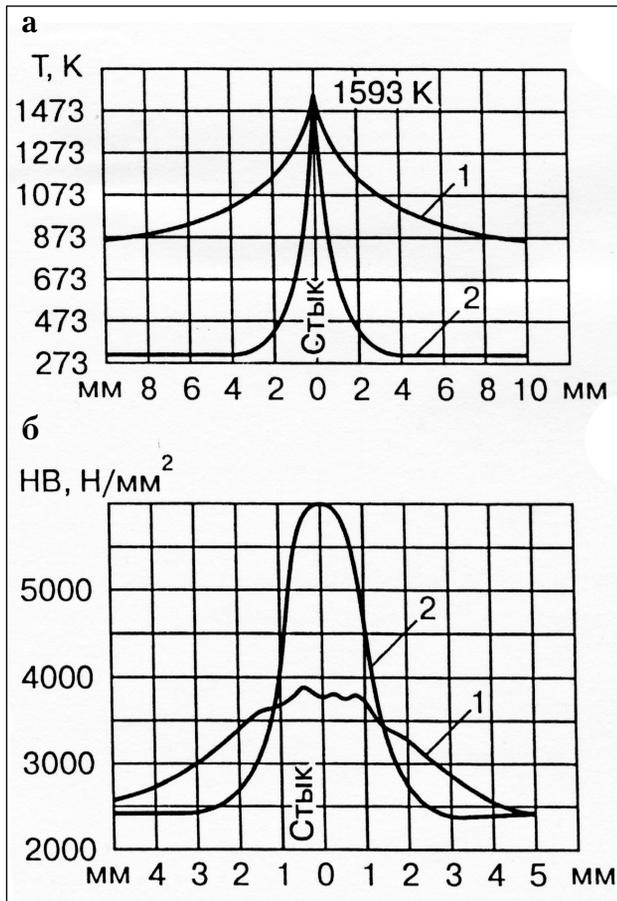


Рис. 33. Распределение температуры в зоне сварки при конвенциональной (1) и инерционной (2) сварке трением (материал – сталь 60) (а); распределение твердости в зоне сварки при конвенциональной (1) и инерционной (2) сварке трением (материал – сталь 60) (б)

малоуглеродистых, среднеуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей; жаропрочной стали. Хорошо свариваются: стали всех названных выше классов в различных сочетаниях между собой; быстрорежущая сталь марок Р9 и Р18 с конструкционной сталью марок 40 и 40Х (и близких к ним); алюминий со всеми его сплавами, медь, латунь и др. цветные металлы.

Однако определенные затруднения представляет сварка трением разнородных металлов и сплавов.

Главной отличительной особенностью сварки трением разнородных металлов и сплавов равно- и неравносечного сечения является асимметрия температурного и деформационного полей, возникающая вследствие неодинаковой интенсивности отвода теплоты в заготовки из-за различных теплофизических характеристик свариваемых металлов и их механических свойств. При этом особые трудности представляет сварка материалов, вступающих при совместном нагреве в химическое взаимодействие и образующих переходной слой интерметаллидов, который резко ухудшает механические свойства соединений или вообще делает невозможной сварку данных материалов.

При разработке технологии сварки трением в зависимости от сочетания материалов предъявляются различные требования к подготовке свариваемых поверхностей, выбору диапазона изменения параметров режима сварки и использованию различных технологических приемов, обеспечивающих оптимальные термические и деформационные условия для образования сварного соединения.

В качестве таких приемов следует выделить:

- различные варианты комбинаций конвенциональной и инерционной сварки;
- наложение тангенциальных импульсов движения на вращающуюся заготовку;
- использование присадочного материала в виде промежуточной вставки или покрытия;
- предварительный подогрев более тугоплавкой заготовки;
- применение осадочной матрицы для более пластичной заготовки.

Развитие технологии сварки трением разнородных материалов, особенно образующих при взаимодействии новые хрупкие фазы, связано с поиском оптимальных температурно-скоростных условий деформирования.

Промышленное использование сварки трением.

Сварку трением широко применяют в ведущих отраслях производства:

- в автомобилестроении – при изготовлении деталей рулевого управления, карданных валов легковых и грузовых автомобилей, полуосей, картеров задних мостов, клапанов двигателей внутреннего сгорания, цилиндров гидросистем и др.;
- в тракторостроении – при изготовлении деталей рулевого управления, планетарных передач, валов отбора мощности, катков, траков, роторов турбонагнетателей дизельного двигателя и др.;
- в электропромышленности – при изготовлении деталей высоковольтной аппаратуры, выводов бумагомалярных конденсаторов, штанг электродержателей, алюминиево-медных переходников и др.;
- в инструментальном производстве – при массовом изготовлении концевых режущего инструмента (фрезы, сверла, метчика).

Известно и много других примеров промышленного использования сварки трением. При этом используют как универсальные, так и специальные машины.

В зависимости от способа сварки трением машины разделяют на конвенциональные, т.е. осуществляющие конвенционную (обычную) сварку трением, и комбинированные.

Конструкция конвенциональных (рис. 34, а) и инерционных (рис. 34, б) машин подобна. Общими узлами и системами в них являются передняя бабка с вращающимся зажимом, суппорт с невращающимся зажимом, приводы для создания

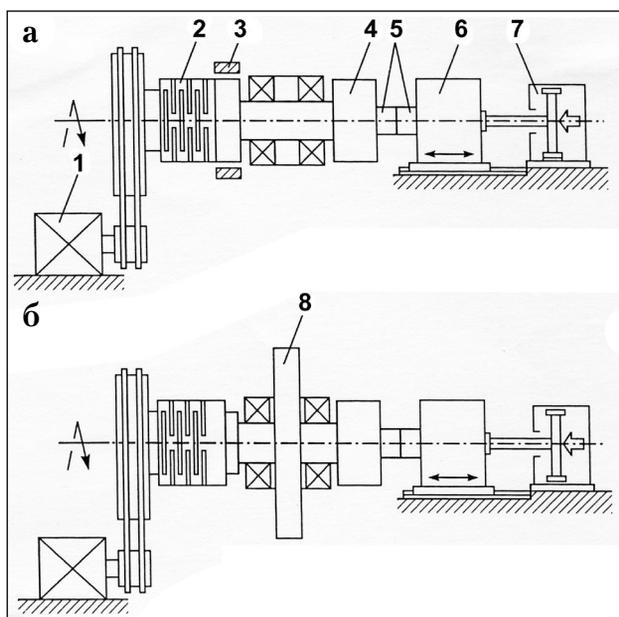


Рис. 34. Основные схемы машин для сварки трением: а – конвенционная; б – инерционная. 1 – двигатель; 2 – муфты сцепления; 3 – тормоз; 4 – шпиндель; 5 – свариваемые заготовки; 6 – задняя бабка; 7 – привод усилия; 8 – маховое колесо

усилия нагрева и проковки, вращения шпинделя, система управления.

В машинах для инерционной сварки трением в качестве привода вращения шпинделя применяют маховик (или совокупность маховиков), который разгоняют до заданной частоты вращения, и накопленная в маховике энергия в процессе его торможения в виде теплоты рассеивается в соединении свариваемых заготовок. Машины для инерционной сварки отличаются высокой производительностью и малой энергоемкостью.

Конвенционные машины обеспечивают высококачественное и стабильное соединение при простой схеме управления.

В настоящее время расширяется применение комбинированных машин для сварки трением, в которых используют преимущества обеих машин.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона разработан ряд модификаций машин для конвенционной и инерционной сварки трением, характеристики которых приведены в *табл. 5* и *6*.

В современных машинах для комбинированной сварки трением программным контроллером осуществляется непрерывная регистрация параметров режима сварки и управления. Это позволяет:

- осуществлять компьютерное программирование режимов сварки при модификации свариваемых деталей;
- отслеживать все параметры процесса сварки, сравнивать их с эталонными и принимать решение о годности сварной детали, что обеспечивает их идентификацию;
- регистрировать приборами в графической и цифровой форме основные параметры сварки

трением (перемещение, скорость, давление);

- оперативно осуществлять диагностику и перекоммутацию электро- и гидроприборов, а также системы управления в целом;
- задавать граничные условия протекания процесса сварки трением.

Основными мировыми производителями оборудования для сварки трением являются фирмы «Tompson» (Великобритания), «MTI» (США), «Kuka» (Германия).

В настоящее время фирма «Kuka» предлагает потребителям семь типов машин для сварки трением с усилием осадки от 5 до 2500 кН и ряд специализированных машин. Все машины этой фирмы оборудованы каноническим приводом (без использования маховика). Общей особенностью конструкции для всех крупных машин «Kuka» (с усилием осадки более 300 кН) являются крупногабаритные рамы с симметричными направляющими и зажимами, обеспечивающими высокую точность центровки и достаточную жесткость. Зажимы дают возможность устанавливать в них детали сложной формы, в т.ч. литые, за счет изменения количества зажимных кулачков и их расположения на корпусе. Посредством привода можно изменять в широких пределах скорость вращения. Компоновка основных узлов машины позволяет использовать их в сочетании с роботами.

Американская фирма «Ram Stud» выпускает набор модульных переносных инструментов, предназначенных для приварки трением к плоскости деталей (шпилек, болтов, бонок) диаметром 8–14 мм и длиной до 200 мм. Масса одного инструмента 25 кг, размеры 160x400 мм, скорость вращения шпинделя достигает 8000 об/мин. В конструкции используют пневмо- и гидропривод. С помощью этого оборудования можно приваривать как однородные, так и разнородные материалы, например, алюминий к стали и титану, меди, нержавеющей стали, а также алюминиевые стержни к керамике.

Экономическая эффективность сварки трением складывается из следующих показателей: экономии материалов и рациональности способов производства; снижения трудоемкости, высокой степени размерной точности и, как следствие, небольшого объема послесварочных операций; возможности соединения разнородных материалов, трудносвариваемых другими способами; высокой производительности; снижения капитальных затрат и расхода электроэнергии; высокого качества соединений и уменьшения брака.

Необходимо особо подчеркнуть, что при сварке трением происходит непосредственное преобразование механической энергии в тепловую в тонких приповерхностных слоях. Это предопределяет ее высокие энергетические показатели. Величина удельной мощности тепловыделения при сварке тре-

Таблица 5. Машины для конвенционной сварки трением

Характеристика	СТ-102	СТ-104	СТ-107	СТ-108	СТ-111	СТ-120
Мощность привода вращения, кВ·А	40	21	55	2x90	55	30
Наибольшее усилие осадки, кН	200	120	500	1200	500	120
Диаметр свариваемых заготовок, мм:						
пруток	16–50	15–30	25–80	-	20–80	10–30
труба	100	до 70	до 120	180	-	до 40
Частота вращения шпинделя, об/мин	750, 1000	940–1875	670, 1080	375, 630	240–980	1000– 3900
Производительность, шт./ч	до 120	10	до 100	до 38	100	до 120
Масса, кг	4650	3800	8130	24260	6800	3200

Таблица 6. Машины для инерционной сварки трением

Характеристика	СТ-100	СТ-103	СТ-105	СТ-109	СТ-110	СТ-113
Мощность привода вращения, кВ·А	2,2	6,3	11	15	8	6,3
Наибольшее усилие осадки, кН	60	70	120	80	20	50
Диаметр свариваемых заготовок, мм	15–25	18–22	15–30	16–27	7–10	12–22
Частота вращения шпинделя, об/мин	3000	2805	2840	2200	5000	2805
Производительность, шт./ч	до 50	50	50	60	280	50
Масса, кг	940	1225	1600	2950	1955	1170

нием углеродистой стали составляет 12–40 Вт/мм², что в 6–10 раз меньше, чем при контактной и в 50–100 раз меньше, чем при дуговой.

Особенно эффективным является использование сварки трением при изготовлении круглых деталей ступенчатого по длине профиля в качестве альтернативного варианта изготовления механической обработкой (точением) из прутков.

Типичные детали станков и машин, получаемые сваркой трением можно представить в виде четырех основных групп (табл. 7), отличающихся формой и размерами.

Основными показателями, определяющими экономическую целесообразность изготовления деталей сваркой трением взамен традиционной обработки резанием из проката, являются:

- экономия затрат на основные материалы (металлопрокат) за счет снижения норм расхода;
- уменьшение расходов на содержание и эксплуатацию оборудования, занятого на черновой механической обработке;
- экономия заработной платы за счет уменьшения объема черновой механической обработки;

Таблица 7. Типичные группы деталей станков и машин, подлежащих сварке трением

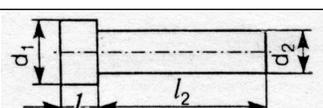
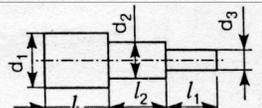
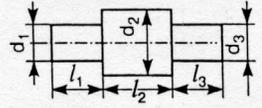
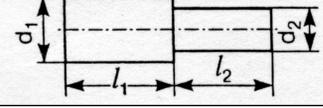
Группа деталей	Эскиз детали	Размеры					
		d ₁	d ₂	l ₁	l ₂	d ₃	l ₃
I		40–200	24–80	6–100	80–600	-	-
II		36–120	30–100	50–200	60–200	24–60	30–120
III		24–80	36–200	60–200	30–500	24–80	30–200
IV		30–160	24–100	60–400	30–2000	-	-

Таблица 8. Показатели экономической эффективности изготовления заготовок способом сварки трением

Объем выпуска заготовок, тыс. шт./год	Масса снимаемой стружки при механической обработке, кг/шт	Машина МСТ-41					Машина МСТ-51						
		Удельная трудоемкость механической обработки, мин/кг стружки											
		1	3	5	10	15	1	3	5	10	15		
5	1												
	3		Неэффективно										
	5												
	10							Неэффективно					
	15												
	20		Эффективно										
	30												
	40												
	50							Эффективно					
70													
20	1												
	3		Неэффективно					Неэффективно					
	5												
	10												
	15												
	20		Эффективно										
	30							Эффективно					
	40												
	50												
70													
100	1	Неэффективно											
	3												
	5												
	10												
	15		Эффективно					Эффективно					
	20												
	30												
	40												

- снижение капитальных затрат на приобретение металлорежущих станков и создание производственных площадей.

Стоимостные оценки эффективности изготовления заготовок деталей способом сварки трением получены расчетом элементов затрат. Установлено, что наиболее существенными для определения стоимости оценки (по нисходящей степени важности) являются:

- типоразмер детали, который отличается площадью продольного сечения базовой и предлагаемой заготовки, массой снимаемой стружки, кг/деталь;
- объем выпуска деталей (заготовок), тыс. шт/год;
- удельная трудоемкость механической обработки базовой детали, мин/кг стружки.

С использованием этих данных проведена укрупненная оценка целесообразности предлагаемого способа (табл. 8).

В настоящее время в связи с существенным увеличением стоимости конструкционных материалов сварку трением целесообразно использовать при изготовлении сварно-штампованных, сварно-кованных и сварно-литых деталей из разных материалов с целью экономии более дорогого или дефицитного из них.

● #1061

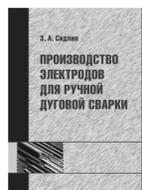
Техническая литература

Тел.: +38 (044) 200-80-14, 200-80-18

* Г. И. Лазенко. *Современные технологии сварочного производства*. 2012. — 720 с.

Изложены направления развития и совершенствования технического уровня сварочного производства и качества изготовления сварных конструкций. Дана характеристика современных конструкционных материалов, описаны пути повышения точности изготовления сварных конструкций, уровня механизации и автоматизации сварочного производства. Освещены принципы управления качеством сварных конструкций. Приведены современные электродуговые, плазменные, лазерные, электронно-лучевые, фрикционные и ультразвуковые технологии сварки, наплавки и резки сталей, алюминиевых сплавов, титановых сплавов и пластмасс.

* Электронная версия



З. А. Сидлин. *Производство электродов для ручной дуговой сварки*. 2009. — 464 с.

Детально описаны все стадии технологического процесса производства металлических покрытых электродов для ручной дуговой сварки, применяемые материалы и оборудование. Даны теоретические основы процессов, протекающих как при изготовлении, так и при применении электродов. Особое внимание уделено вопросам обеспечения качества продукции.

Для инженерно-технического персонала, сварщиков и рабочих электродных производств.

С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин. *Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология*. 2006. — 360 с.

Рассмотрены физико-металлургические процессы при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Даны характеристики и классификация электродов, представлена номенклатура промышленных марок, источники питания и другое оборудование. Изложены рекомендуемые технологии сварки сталей, чугуна и цветных металлов и их особенности. Рассмотрены дефекты сварных соединений и причины их образования, а также вопросы ремонтной сварки.



Оценка технологической наследственности металла массивных конструкций перед их ремонтной сваркой

В. И. Панов, д-р техн. наук, ПАО «Уралмашзавод» (Екатеринбург)

Под термином «жизненного цикла конструкций» (ЖЦК), в т.ч. массивных, понимается совокупность процессов (техническое задание заказчика, маркетинговое исследование, проектирование, производство, монтаж, опытно-промышленная и промышленная эксплуатация), характерных для тяжело нагруженного оборудования. Важное место занимает ремонтная сварка, которая может выполняться на всех этапах ЖЦК.

В машиностроительном производстве изготовление металлоконструкций осуществляется на основе обработки заготовок в ходе технологических процессов металлургического, механического, сварочного и механосборочного производств. Каждый технологический передел имеет свои особенности, влияющие на свойства металлов и пр., их пороки (дефекты) могут появляться еще в металлургическом переделе и сохраняться вплоть до эксплуатации конструкции. В технической литературе это явление называют технологической наследственностью. Существует достаточно большое количество формулировок понятия «технологическая наследственность металла», но в общем случае, под технологической наследственностью понимается изменение свойств металла заготовок (деталей) под влиянием технологии их изготовления и условий эксплуатации.

«Эффект последствия» сформулировал великий математик В. Вольфтерра: состояние объекта определяется не только силами, которые действуют на него в данный момент времени, но и историей сил, имевших место в прошлом. Это означает, что состояние тела (для нашего случая — металла заготовки) в любой момент времени отличается от состояния в другой момент времени.

Специалистами в области проектирования, изготовления и эксплуатации металлических конструкций осознан факт влияния стадий жизненного цикла подобных изделий на состояние их металла как в процессе их изготовления, так и в период эксплуатации. Влияние технологической наследственности рассмотрено в теориях литейного дела,

обработки металлов давлением, в рамках механики разрушения, усталостной прочности, в теоретических основах машиностроения в целом и др. Изучение вопросов оценки технологической наследственности в настоящее время по-прежнему является одним из приоритетных направлений теории и практики оценки живучести конструкций различного назначения.

Многолетние и многократные исследования технологических процессов изготовления массивных конструкций, проведенные на «Уралмашзаводе» с учетом физических механизмов принципа технологической наследственности, позволили выявить факторы, влияющие на свойства готового изделия.

Целью настоящей работы явилось:

- исследование влияния единичных факторов на каждом из уровней, т.е. установление взаимосвязи технологической наследственности как функции жизненного цикла конструкции;
- выявление обобщающих факторов уровней;
- проведение общей систематизации элементов и уровней объектов, определяющих процессы проектирования, производства и эксплуатации конструкции, что позволило представить результаты исследований функциональных взаимосвязей технологической наследственности с этапами ЖЦК.

На этапе проектирования массивных конструкций выполняются проектные процедуры — формирование принципиального решения, разработка геометрических моделей и чертежей, расчеты и пр. Размеры массивных конструкций делают невозможным осуществлять сплошной контроль качества основного металла. В толстостенных изделиях (отливки, поковки, прокат) всегда имеются флуктуации распределения химических элементов, механических свойств и местного напряженно-деформированного состояния, которые носят случайный и детерминированный характер. Для того чтобы оценить отрицательное влияние технологической наследственности металла и определить возможность его последующего разрушения, необходимо

последовательно решить ряд задач. Среди них — оценка напряженно-деформированного состояния металла. Отсутствие информации по этим и другим трудно учитываемым факторам компенсируется введением так называемых коэффициентов запаса прочности, порою завышенных. Они играют двойную роль. С одной стороны, они обеспечивают дополнительный ресурс работы конструкции. Но с другой стороны они приводят к избыточности массы конструкции, увеличению толщины изделий и т.д., со всеми вытекающими последствиями.

Конструктор должен представлять основные технологические процессы производства металлоконструкций, именно он создает первоначальный уровень технологической наследственности.

Производство металлоконструкций занимает важнейшее место в формировании технологической наследственности металла, т.к. каждый технологический процесс изменяет уровень внутренней энергии системы, что может привести к реальному изменению характеристик металла конструкции и ее в целом. При изготовлении оборудования, его монтаже и эксплуатации может происходить отклонение формы и размеров конструктивных элементов от проектных значений.

Наконец на технологическую наследственность может оказать влияние человеческий фактор (ошибки конструктора и технолога, недостаточная квалификация рабочего и пр.).

На этапе подготовки производства восстановительных работ разрабатываются маршрутная и операционная технологии, технология контроля качества исполнения сварки. Для этой цели используется прикладное программное обеспечение (PLM-система), включающее в себя функции CAE/CAD/CAM.

Технологическое наследование свойств металла начинается с металлургического передела и проходит через весь процесс изготовления детали. На исследуемый принцип оказывают большое влияние значительное число факторов: исходное сырье (химический состав шихты, размер кусков лома и пр.), тип футеровки плавильного агрегата (кислая или основная), процессы ведения плавки, раскисления и др., регулирование температуры, удаление продуктов окисления, температура металла перед разливкой, способ разливки (струйный, сифонный и др.) и т.д.

На технологическую наследственность влияет и величина слитков, она сказывается на структуре металла, величине усадочной рыхлоты. При большой толщине стенок изложниц сложно выдержать химический состав металла, равномерность его ме-

ханических свойств. Они будут разные в зависимости от вида заготовок-поковки, проката.

Силы, возникающие при различных режимах лезвийной обработки (точение, фрезерование, шлифование, сверление) вызывает разный по величине уровень внутренних напряжений, которые могут самым неожиданным образом проявить себя в уже готовой машине. При механической обработке крупногабаритных массивных конструкций (например сварного корпуса гидравлической турбины) перераспределение внутренних напряжений при съеме металла приводит к значительному формоизменению детали, требующей дополнительной ремонтной сварки.

В процессе механической обработки массивной детали происходит наклеп поверхности, который, к тому же, может быть обусловлен неравномерным распределением накопленной деформации, неоднородностью химического состава и механических свойств. Деформационная анизотропия может понизить прочность металла детали.

На технологическую прочность массивной конструкции оказывают влияние неизбежные колебания режимов технологических операций, которые могут играть возмущающую роль в стохастической картине распределения локальных напряжений как в ходе изготовления оборудования, так и в ходе его эксплуатации. В частности, наследственную природу имеют технологические напряжения. В зависимости от воздействия технологического процесса на материал в разных частях крупногабаритной массивной заготовки возникают разные по величине и по знаку напряжения. В качестве примера можно привести конус засыпного аппарата доменной печи. В ходе механической обработки эта литосварная деталь, имеющая разнотолщинность рабочей поверхности, получает неравновесное состояние (часть поверхности остается необработанной), что приводит к ползучести металла и отрыву ребер жесткости от внутренней поверхности конуса.

При производстве конструкций рассматриваемого класса широко используются технологические операции, приводящие к пластической деформации материалов. К этим операциям в сварочном переделе относятся дробеструйная очистка проката, его правка, резка на гильотинных ножницах, гибка и калибровка, штамповка, совмещение кольцевых стыков при сборке и пр. Как известно, пластическая деформация может значительно снизить его пластические свойства и вызывать деформационное старение. Процесс проявления синеломкости (термодеформационного старения) в корне много-

проходного шва и в зоне термического влияния под влиянием термодиформационных циклов сварки даже в отсутствие интенсивных внешних воздействий приводит к изменению физико-механических свойств и структуры. Обработка наплавленного металла абразивным инструментом создает в выступах неровностей поверхности тепловые удары, вызывающие мгновенный нагрев и структурные изменения металла поверхностного слоя. На участках обработанной поверхности, расположенных под выступами микронеровностей, возникают зоны отпущенного металла, имеющие пониженную твердость. На границах разных структур возникают значительные остаточные напряжения, вызывающие появление трещин типа шлифовочных.

Подводя итоги сказанному выше отметим, что современное машиностроительное предприятие включает в себя замкнутый цикл разнообразных технологических процессов и что технологическая наследственность металла имеет место при применении практически любого способа обработки материала (выплавка, ковка, прокатка, механическая обработка, штамповка или сварка), который сопровождается такими сопутствующими явлениями, как формирование временного и остаточного напряженно-деформированного состояния, из-

менение фазового и структурного состава, развитие анизотропии химического состава и механических свойств, изменение исходной геометрической формы и многое др. Практически любая технологическая операция может вызвать дефект (несоответствие), который затем обнаруживается в процессе производства, монтажа или эксплуатации. Технологическую наследственность следует рассматривать как функцию, во многом влияющую на жизненный цикл конструкции, существующие взаимосвязи между ними носят сложный характер. Наследование свойств металла является как детерминированным процессом, так и вероятностным, поэтому аналитическое описание приведенных явлений связано со значительными трудностями.

В результате проведенной работы выработаны рекомендации выполнения ремонтной сварки с учетом предистории технологической наследственности металла массивной конструкции в каждом конкретном случае, что позволяет управлять процессом ремонтной сварки и находить оптимальные пути ее выполнения, обеспечивая, тем самым, длительную работоспособность восстановленной массивной металлоконструкции.

● #1062

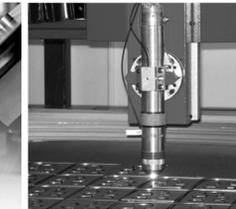
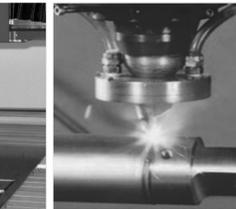


СВАРКА и РЕЗКА

**18-я международная специализированная
выставка оборудования, приборов
и инструментов для сварки и резки**

10-13.04.2018





МАШИНОСТРОЕНИЕ
Международная специализированная выставка

**Беларусь, Минск,
пр-т Победителей, 20/2
Футбольный манеж**



ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ. ПОКРЫТИЯ
Международный специализированный салон



ЛИТМЕТЭКСПО
международная специализированная выставка

Организатор:



МИНСКЭКСПО

Тел.: +375 17 226 98 58
+375 17 226 90 83
Факс: + 375 17 226 98 58
+375 17 226 99 36
E-mail: e_fedorova@solo.by

Генеральный
информационный
партнер:



Сварщик
в Беларуси

Дефекты в наплавленном металле, их происхождение и меры борьбы с ними. Несплавления, непровары, отклонения формы и размеров, и другие дефекты

И. А. Рябцев, д.т.н., И. И. Рябцев, к.т.н., А. А. Бабинец, к.т.н., «ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ (Киев), Э. В. Турык, д.т.н., Instytut Spawalnictwa (Гливице, Польша)

В статье описаны причины образования и методы борьбы с несплавлениями, непроварами, отклонениями формы и размеров наплавленных валиков и других дефектов, характерных для наплавки. Как и в предыдущих публикациях [1, 2], эти дефекты классифицированы в соответствии с международным стандартом ISO 6520-1:2007 [3] и его аналогом ГОСТ Р ИСО 6520-1:2012 [4].

Несплавления и непровары (*Lack of fusion and penetration, индексы 400–402*). Несплавления (*lack of fusion, индекс 401*) это отсутствие соединения между основным и наплавленным металлами или между отдельными слоями (валиками) (рис. 1, а, б) [3, 4].

Из-за своей формы, чаще всего плоской, несплавления могут выступать в качестве концентраторов напряжений, существенно снижая усталостную долговечность наплавленных деталей [5]. Примеры межслойных (4011) и межваликовых (4012) несплавлений, образующихся при механизированной наплавке методом МАG внутренней поверхности неповоротной трубы, приведены на рис. 2. Основной причиной появления этих дефектов являются нарушения технологии наплавки.

Межслойные несплавления (4011) могут появляться при нарушении режимов и других способов наплавки. Например, при плазменно-порошковой (рис. 3, а) и лазерно-порошковой (рис. 3, б) наплавке.

Непровар (*lack of penetration, индекс 402*) по стандартам [3, 4] — это разница между фактической и номинальной глубиной проплавления, чаще всего этот дефект наблюдается в корне сварных швов (рис. 4, а-в). Следует отметить, что при наплавке эти дефекты встречаются достаточно редко.

Отклонение формы и размеров (*Imperfect shape, индексы 500–521*). Это наиболее многочисленная группа дефектов, в которую входят подрезы (*undercut, индекс 501*), превышение проплавления (*excessive penetration, индекс 504*), неправиль-

ный профиль сварного шва (*incorrect weld profile, индекс 505*), натеки (*overlap, индекс 506*), линейные смещения (*linear misalignment, индекс 507*), прожоги (*burn-through, индекс 510*), незаполненные разделки кромок (*incompletely filled groove, индекс 511*), неравномерная ширина шва (*irregular width weld, индекс 513*), неровная поверхность шва (*irregular surface weld, индекс 514*), плохое повторное возбуждение дуги (*poor restart, индекс 517*), коробление (*excessive distortion, индекс 520*), неправильные размеры сварного шва (наплавленного валика) (*imperfect weld dimensions, индекс 521*) [3, 4].

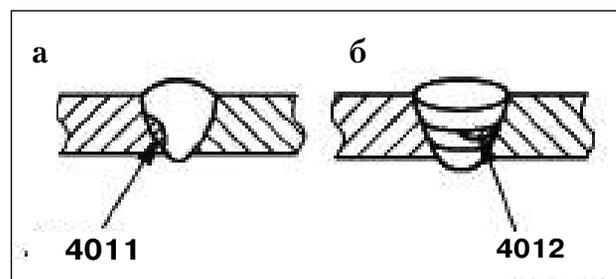


Рис. 1. Несплавление по расплавляемой поверхности основного металла (а, индекс 4011) и между отдельными слоями (валиками) (б, индекс 4012) [3, 4]

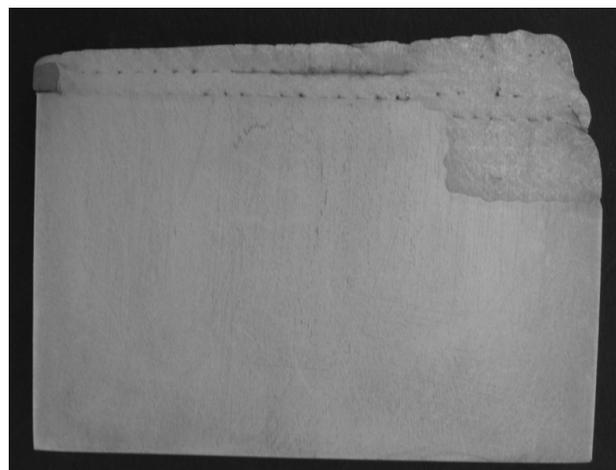


Рис. 2. Межслойные (4011) и межваликовые (4012) несплавления при наплавке методом МАG неповоротной внутренней поверхности трубы Ø 170 мм

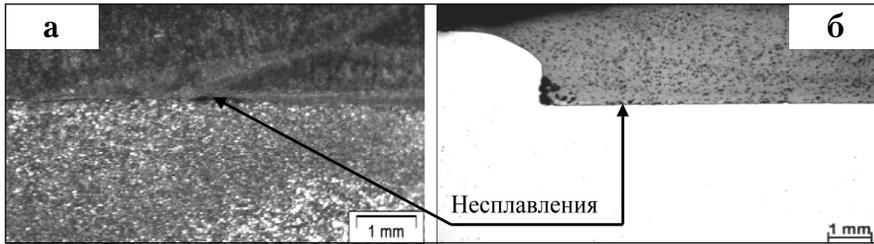


Рис. 3. Несплавления на границе соединения основного и наплавленного металлов (4011) при плазменно-порошковой (а) и лазерно-порошковой наплавке (б) [6]

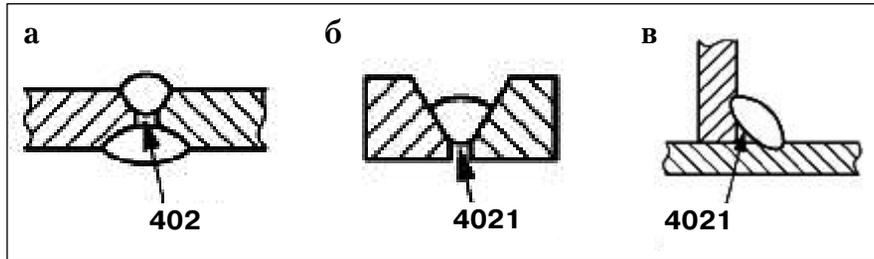


Рис. 4. Непровар при двухсторонней сварке (а, индекс 402) и непровар корня шва при сварке встык (б, индекс 4021) и в угол (в, индекс 4021) [3, 4]

Для наплавки наиболее характерными из них являются:

- подрез — углубление по границе валика в основном металле или в предыдущем наплавленном валике (501);
- превышение проплавления (504) и прожоги (510), которые могут появляться при наплавке тонкостенных деталей в случае нарушения технологии наплавки;
- неравномерность усиления наплавленного

валика по длине или недостаточное перекрытие валиков по ширине наплавленного слоя, связанные с нарушением технологии наплавки (514);

- плохое повторное возбуждение дуги — местная неровность поверхности в месте возобновления сварки (наплавки) (517);
- коробление — отклонение размеров детали от заданных чертежом, возникшее от сварочных (наплавочных) деформаций (520);
- неправильные размеры наплавленного валика вследствие нарушения режима наплавки, магнитного дутья

или низкой квалификации наплавщика (521).

При наплавке плоских или цилиндрических поверхностей большой площади достаточно часто встречается дефект — неравномерность усиления наплавленного валика по длине или недостаточное перекрытие валиков по ширине наплавленного слоя (514). После механической обработки это приводит к появлению на поверхности наплавленного слоя канавок различной глубины и протяженности (рис. 5, а, б; рис. 6, а, б).

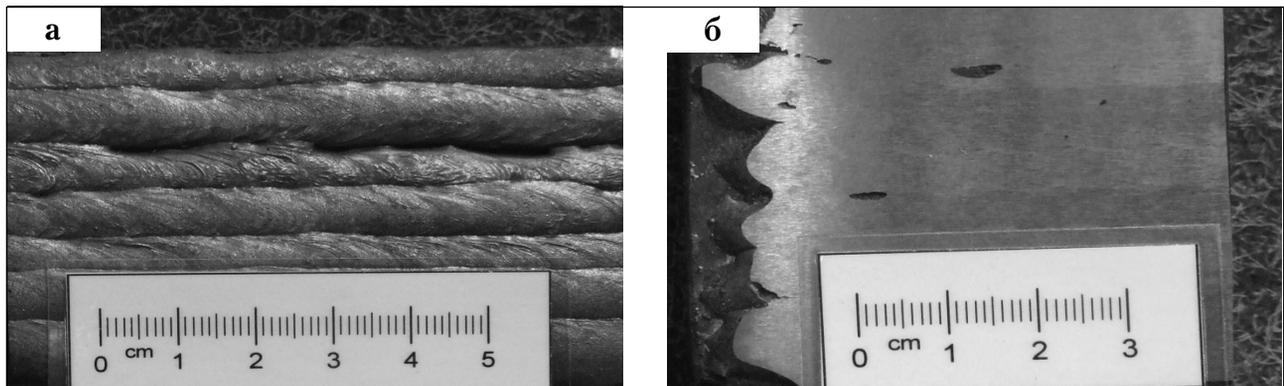


Рис. 5. Внешний вид наплавленной поверхности с неравномерным усилением наплавленных валиков и недостаточным перекрытием соседних валиков (514) после наплавки (а) и после механической обработки (б) [6]

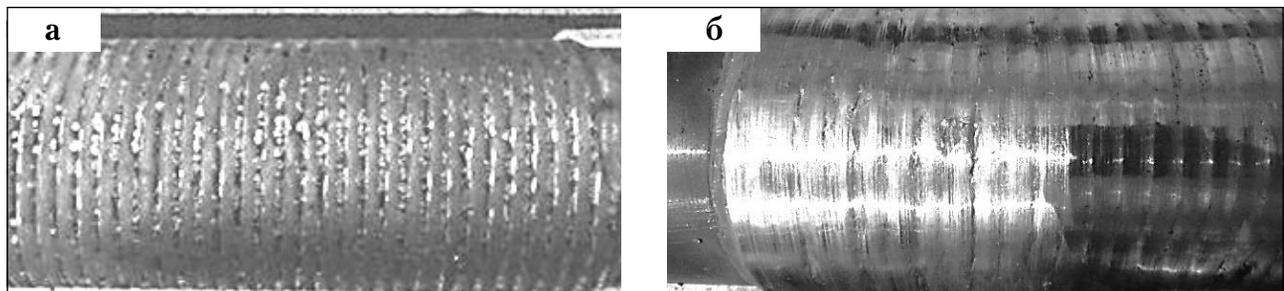


Рис. 6. Внешний вид наплавленной поверхности валика $\varnothing 70$ мм с неравномерным усилением наплавленных валиков и недостаточным перекрытием соседних валиков (514) после наплавки (а) и после механической обработки (б)



Рис. 7. Нарушение формы валика (521), наплавленного электрошлаковым методом двумя лентами шириной 120 мм, в зависимости от места подвода тока к изделию и влияния магнитного дутья: а – токоподвод с левой стороны от оси валика; б – токоподвод с правой стороны от оси валика; в – токоподвод по оси валика

Внешний вид валиков, наплавленных двумя нержавеющей лентами шириной 120 мм, представлен на рис. 7. В зависимости от места подвода тока меняется характер формирования наплавленных валиков. Если токоподвод осуществляется на значительном удалении от оси валика (рис. 7, а, б), то в результате проявления эффекта магнитного дутья формирование наплавленного валика ухудшается (дефект 521). При токоподводе по оси наплавленного валика обеспечивается хорошее формирование (рис. 7, в).

Прочие дефекты (*Miscellaneous imperfections*, индексы 600–618). К прочим относятся все дефекты, которые не упомянуты в группах 1–5 [3, 4]. Из них для наплавки наиболее существенными являются: ожог дугой (*arc strike*, индекс 601); брызги металла (*spatter*, индекс 602); цвета побежалости (*visible oxide film*, индекс 610); остатки шлака (*slag residue*, индекс 615):

601 – ожог дугой – местное повреждение поверхности основного металла, примыкающего к наплавленному слою, возникшее в результате случайного зажигания дуги;

602 – брызги металла – капли наплавленного металла, которые образуются во время наплавки открытой дугой или в защитных газах и привариваются к поверхности затвердевшего наплавленного слоя или околошовной зоны основного металла; причинами повышенного разбрызгивания могут быть нарушения режимов наплавки, химический состав шихты наплавочной порошковой проволоки, применение устаревшего наплавочного оборудования;

610 – цвета побежалости – тонкая окрашенная оксидная пленка на поверхности в зоне сварки (наплавки), например, при сварке нержавеющей стали, появление которой обусловлено нагревом при сварке (наплавке) и/или недостаточной защитой, например, при сварке (наплавке) титана;

615 – остаток шлака – шлак, не полностью удаленный с поверхности сварного шва или наплавленного металла; основная причина появления

этого дефекта – плохая отделимость шлаковой корки.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что проведенный в двух предыдущих [1, 2] и в этой публикации обзор разных групп дефектов наплавленных слоев, причин их образования и мер, предотвращающих их образование, подтвердил возможность классификации и характеристики этих дефектов по стандарту ISO 6520–1:2007 [3] и его аналогу ГОСТ Р ИСО 6520–1:2012: Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением [4].

Литература

1. Рябцев И. А., Рябцев И. И., Бабинец А. А., Турык Э. В. Дефекты в наплавленном металле, их происхождение и меры борьбы с ними. Трещины // Сварщик в России. – 2017. – № 4. – С. 15–21.
2. Рябцев И. А., Рябцев И. И., Бабинец А. А., Турык Э. В. Дефекты в наплавленном металле, их происхождение и меры борьбы с ними. Полости. Включения // Сварщик в России. – 2017. – № 5. – С. 33–37.
3. ISO 6520–1:2007: Welding and allied processes. Classification of geometric imperfections in metallic materials. Part 1: Fusion welding.
4. ГОСТ Р ИСО 6520–1:2012: Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением.
5. Чухрый Я. Сопротивление усталости образцов из стали 34ХНМ наплавленных различными способами // Автомат. сварка. – 1988. – № 9. – С. 66–67.
6. DVS-Merkblatt DVS0945–2. Unregelmäßigkeiten geschweißter Beschichtungen. DVS Media GmbH.

Оптимизация процесса плазменного напыления токоведущей проволокой

О.Г. Быковский, д-р техн. наук, **А.Н. Лаптева**, **Д.В. Строгонов**, **Н.П. Пасько**,
Запорожский национальный технический университет

В технологии плазменного напыления важным этапом является подготовка поверхности изделия под напыление покрытия, оказывающая значительное влияние на прочность сцепления плазменного покрытия с основой, за счет активации напыляемой поверхности и создания определенного микрорельефа на обрабатываемой поверхности. Проведены исследования поверхности образцов, подвергшихся дробеструйной обработке на протяжении определенного времени. На основе полученных экспериментальных данных построена модель, позволяющая оптимизировать процесс плазменного напыления токоведущей проволокой.

Нанесение покрытий плазменным напылением является прогрессивным технологическим процессом, который позволяет восстанавливать и упрочнять рабочие поверхности деталей машин и механизмов.

При плазменном напылении токоведущей проволокой высокая прочность сцепления покрытия с основой достигается за счет активации напыляемой поверхности, которую осуществляют дробеструйной или пескоструйной обработкой.

Изучение закономерностей образования микронеровностей (их величин) в процессе дробеструйной обработки позволяет оптимизировать процесс плазменного напыления.

В настоящее время проведено большое количество исследований в области подготовки поверхности к плазменному напылению, однако их результаты носят разрозненный характер, практически отсутствуют достаточно обоснованные требования к параметрам микрорельефа поверхности, подготовленной к напылению.

Нами проведены исследования влияния времени дробеструйной обработки на морфологию обрабатываемой поверхности и прочность сцепления плазменного покрытия с подложкой.

В ходе эксперимента на плоских необработанных пластинах из стали Ст. 3 толщиной 3 мм на протяжении определенного времени (2, 6, 12 с) с помощью модернизированной установки дробеструйной обработки КСО-130-М предприятия «Плазматех» (Запорожье) создавалась определенная шероховатость поверхности. Данная установка нагнетательного типа позволяет производить обработку на следующих режимах: при давлении сжатого воздуха $P = 0,5-0,6$ МПа, скорости чугунной колотой дроби ДЧК 15–30 м/с (номинальный размер дроби 1,6 мм).

На полученных образцах проводились исследования микрорельефа обработанных поверхностей с использованием электронного профилометра модели 170311 завода «Калибр». Полученные результаты передавались на ПК, обрабатывались в программном продукте «PowerGraph 3.3» и обобщались в виде графиков, изображений, полученных на оптическом микроскопе, профилограмм поверхностей и фрактограмм излома плазменного покрытия.

Область частых максимальных значений высоты микрорельефа поверхности, полученных во временном интервале 4–8 с, четко видна на *рис. 1, а*.

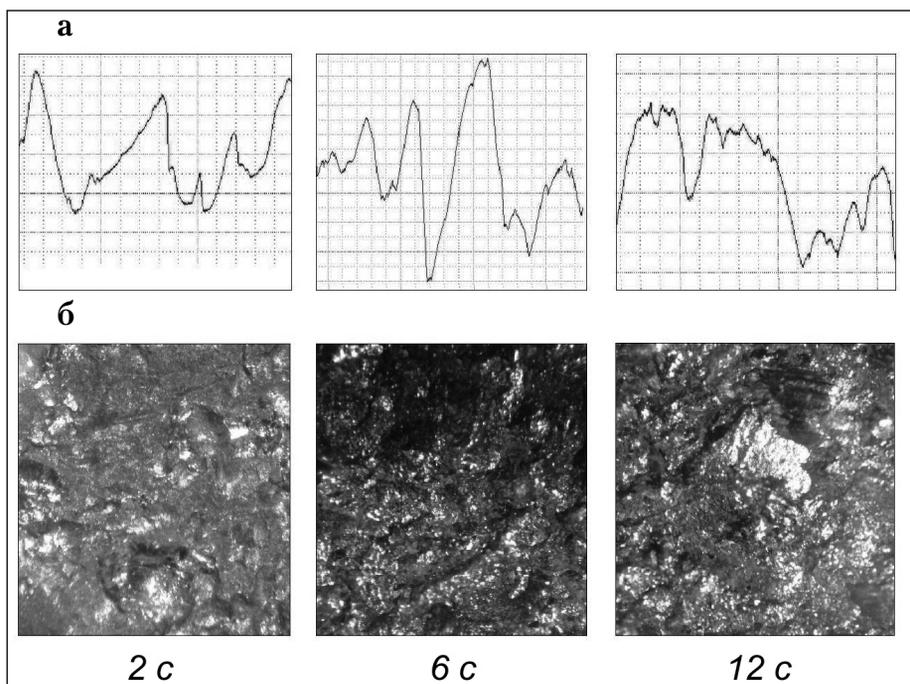


Рис. 1. Микрорельеф (а) и вид сверху поверхности (б), обработанной дробью за определенное время (×50)

При меньших значениях времени (0–4 с) максимальная высота микронеровностей имеет место только на отдельных участках, а в интервале 8–12 с происходит некоторое снижение высоты, ее стабилизация на определенном уровне.

На поверхности (вид сверху – рис. 1, б), обработанной дробью за 2 с, наряду с участками с оптимальным микрорельефом, видны места, не подвергшиеся обработке, что позволяет сделать вывод о получении недостаточной шероховатости поверхности. Оптимальный микрорельеф с равномерным распределением микровыступов и впадин на поверхности получен в период времени 4–8 с; в интервале 8–12 с происходит сминание микровыступов, а также шаржирование поверхности образца абразивными частицами.

Полученные данные хорошо согласовываются с проведенными ранее исследованиями прочности сцепления плазменного покрытия, напыленного токоведущей проволокой из бронзы БрКМц 3–1 на поверхность стали Ст. 3 (рис. 2, а).

Максимальная прочность сцепления плазменного покрытия с подложкой получена в интервале 4–8 с, когда при обработке дробью на основе создается оптимальный микрорельеф, отсутствуют следы сминания и шаржирования поверхности. Согласно данным [1], большая прочность сцепления достигается за счет лучшей смачиваемости поверхности при дробеструйной обработке, когда дробь пластически деформирует поверхность, активирует ее, создает каналы-капилляры, куда проникает перегретый металл, увеличивая фактическую площадь контакта, и тем самым обеспечивает высокую прочность сцепления перегретых металлических частиц с основой. Ранее в работе [2] было установлено, что наибольшее количество частиц (80–90%) в плазменной струе составляют частицы размером 0,1–0,4 мм. На основе этого построена зависимость оптимального соотношения размеров распыляемых частиц и микрорельефа, которая обеспечивает наибольшую прочность покрытия, нанесенного токоведущей проволокой (рис. 3).

Изложенное выше позволяет прийти к выводу, что оптимизация процесса плазменного напыления токоведущей проволокой достигается при создании необходимой шероховатости R_z в пределах

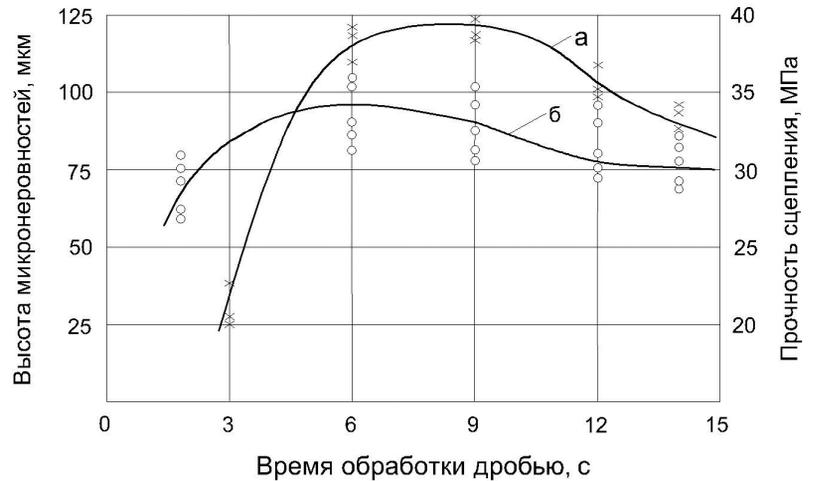


Рис. 2. Зависимость прочности сцепления с основой (а) и микрорельефа (б) от времени дробеструйной обработки при напылении бронзы БрКМц 3-1 на сталь Ст.3

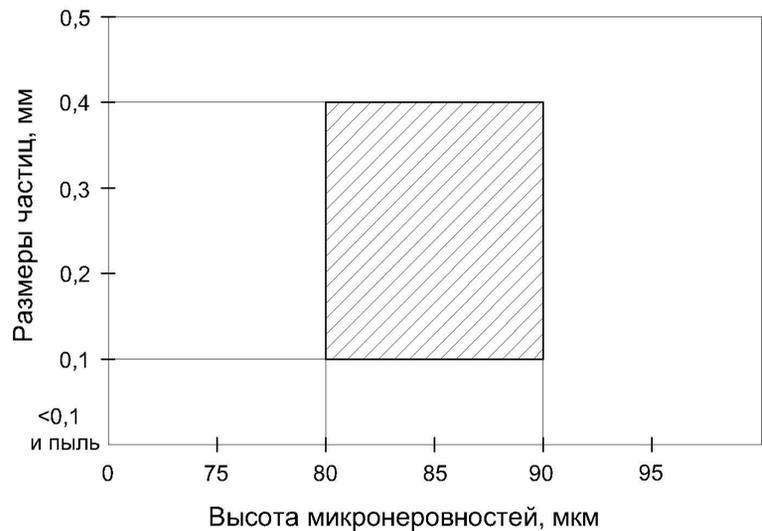


Рис. 3. Оптимальное соотношение размеров распыляемых частиц и микрорельефа, которое обеспечивает наибольшую прочность сцепления плазменного покрытия

80–90 мкм, с использованием распыляемых частиц размерами 0,1–0,4 мм.

Литература

1. Быковский О.Г., Самойлов В.Е., Ольшанецкий В.Е. и др. Влияние состояния поверхности твердого тела на характеристики смачивания его расплавом // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2013. № 2. – С. 55–59.
2. Русев Г.М., Овсянников В.В., Быковский О.Г., Лаптева А.Н. Влияние параметров режима плазменного напыления токоведущей проволокой на фракционный состав распыляемых частиц // Автомат. сварка. – 2013. № 1. – С. 45–47.

Автоматизация сварки неповоротных стыков трубопроводов *

Н.М. Махлин, Н.С. Федоренко, В.Ю. Буряк, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Д.С. Олияненко,
 ГП «НИЦ СКАЭ Украины ИЭС им. Е.О. Патона»,
 А.Е. Коротынский, М.И. Скопюк, «ИЭС им. Е.О. Патона» НАНУ (Киев)

В энергетике, перерабатывающей промышленности, нефтегазовом, фармацевтическом производстве и др. отраслях экономики все большее применение получают трубопроводы и арматура из сталей различных классов, цветных металлов и сплавов. Особое значение имеют трубопроводы энергоблоков АЭС, являющиеся базовыми элементами технологических цепочек АЭС [1] и работающие преимущественно в условиях одновременного воздействия на них высоких температур и повышенного давления коррозионно – агрессивного теплоносителя, в силу чего данные трубопроводы по их влиянию на надежность и безопасность АЭС выделены в отдельную группу устройств [1, 2, 3]. Выполняемые трубопроводами энергоблоков АЭС функции, сложность условий их эксплуатации, ограниченность пространства и доступа к местам проведения сварочных работ обуславливают высокие требования к качеству, прочности и коррозионной стойкости сварных соединений таких трубопроводов [1–4]. Трудозатраты на сварку их стыков составляют до 60% от общих трудозатрат на сварочные работы при монтаже энергоблоков АЭС [1, 5, 6].

Большинство сварных соединений трубопроводов АЭС представляют собой неповоротные стыки. Доминирующими способами сварки этих стыков и ныне являются ручная аргонодуговая сварка (TIG) с использованием присадочного материала и ручная дуговая сварка покрытыми электродами (ММА). Автоматическая орбитальная аргонодуговая сварка (GTAW) с подачей присадочной проволоки и без нее применяется в отечественной практике в ограниченном объеме.

Использование TIG и ММА характеризуется относительно высокой технологической гибкостью, благодаря чему эти способы сварки нашли широкое применение при монтаже и особенно при ремонте трубопроводов и арматуры энергоблоков АЭС и др. объектов индустрии, при этом для TIG и ММА в основном используют многопостовые сварочные системы (МСС) и значительно реже – специализированные однопостовые сварочные установки. Однако ручным способам сварки присущ ряд существенных недостатков. К основным из них следует от-

нести необходимость привлечения большого количества высококвалифицированных сварщиков, нестабильность требуемого уровня качества (уровень дефектности сварных соединений при TIG и/или ММА при сдаче с первого предъявления доходит до 45%, что вызывает необходимость ремонта дефектных стыков и неизбежность существенных дополнительных трудозатрат) [5–7], низкую производительность сварочного поста (например, при TIG машинное время – продолжительность горения сварочной дуги – не превышает 20%).

Учитывая отмеченные недостатки TIG и ММА и опыт применения GTAW для сварки неповоротных стыков водяных и пароводяных коммуникаций ядерных энергетических реакторов РБМК-1000, выполненных с помощью орбитальных автоматов серии ОДА (разработки и конструкции НИКИМТ, Москва), имеются все основания утверждать, что широкое применение автоматов для GTAW является безальтернативным, поэтому создание и внедрение таких отечественных автоматов представляют собой актуальную научно-техническую задачу. Целью настоящей статьи является представление результатов работ, проведенных в 2008–2017 гг. в НИЦ СКАЭ совместно с ИЭС им. Е.О. Патона, продолжающихся и поныне, по разработке, конструированию, внедрению и совершенствованию моделей отечественных автоматов для GTAW неповоротных стыков трубопроводов диаметром от 7 до 76 мм с толщиной стенки до 3,0 мм.

Рассмотрены преимущества и особенности современных отечественных автоматов для GTAW, разработанных впервые в Украине. Приведены структурно-функциональные схемы и описаны конструктивные решения основных составляющих этих автоматов, изложены особенности их модернизации.

В отличие от ручных способов сварки (TIG и/или ММА) способ автоматической орбитальной сварки в среде инертных газов (GTAW) обеспечивает:

- стабильно высокое качество сварных соединений трубопроводов (при GTAW без присадочной проволоки уровень дефектности при сдаче с первого предъявления не превышает 4%, с присадочной проволокой – 7%);
- повышение не менее чем в четыре раза производительности сварочных работ;

* Часть 1. Продолжение в следующих номерах журнала «Сварщик в России»

- значительное сокращение продолжительности обучения оператора автоматической сварки по сравнению с продолжительностью подготовки высококвалифицированного сварщика ручной сварки [5–8].

В настоящее время в Украине и за рубежом находятся в эксплуатации, сооружаются и будут сооружаться многочисленные энергоблоки АЭС (преимущественно с ядерными энергетическими реакторами типа ВВЭР и БН). При монтаже таких энергоблоков в отечественной практике уровень автоматизации сварочных работ пока не превышает нескольких процентов, что объясняется многими причинами. Среди них — отсутствие или недокомплект современных орбитальных автоматов, рассчитанных на типоразмеры и межтрубные расстояния отечественных трубопроводов; отсутствие промышленных образцов отечественного оборудования, приспособлений и оснастки для качественной подготовки торцов и кромок трубопроводов под GTAW; сложившиеся технологии монтажа трубопроводов диаметром до 100 мм, согласно которым такие трубопроводы (без их рабочих чертежей) монтируются по месту, без укрупнения их в блоки; не использование таких прогрессивных технологий монтажа трубопроводов, как пакетный и кассетный способы или предварительная обвязка трубопроводами монтируемого тепломеханического оборудования или др., при которых применение GTAW монтажных стыков наиболее эффективно; отсутствие разработок и промышленного изготовления оборудования для GTAW, рассчитанного на питание от широко используемых на монтаже систем централизованного энергоснабжения сварочных постов [1, 5, 7].

Сегодня рынок сварочного оборудования предлагает обширный выбор орбитальных автоматов, разработанных и изготавливаемых зарубежными фирмами, например, «POLYSOUDE» (Франция) [9], «SIEMENS» (ФРГ), «ESAB» (Швеция) [10] и др. Однако, как показывает практика, все импортируемые орбитальные автоматы требуют значительных эксплуатационных расходов и, по мнению ведущих специалистов в области GTAW, заметно уступают даже разработанным в НИКИМТ в 1960-е — 1970-е гг. автоматам (например, серии ОДА) как по ресурсу машинного времени, адаптированности к размерам и межтрубным расстояниям трубопроводов отечественных энергоблоков, так и по технологическим возможностям (за рубежом до сих пор не освоены способы сварки тонкостенных трубопроводов малых диаметров методами автопрессовки или последовательного проплавления), способу охлаждения горелочного узла (подавляющее большинство зарубежных моделей орбитальных автоматов предполагают жидкостное охлаждение), ремонтпригодности составных частей автоматов [1].

Принимая во внимание масштабы развития атомной энергетики в мире, в т.ч. за счет модернизации, продления ресурса действующих (сейчас только в Украине в эксплуатации находятся 15 энергоблоков на четырех АЭС) и строительства новых энергоблоков с ядерными энергетическими реакторами типа ВВЭР, применению GTAW для выполнения более 120 000 сварных соединений трубопроводов при монтаже каждого энергоблока нет альтернативы. Поэтому разработка и освоение промышленного изготовления современных отечественных орбитальных автоматов, особенно для сварки неповоротных стыков малых (до 100 мм) диаметров, оснащение ими монтажных организаций и ремонтных подразделений АЭС Украины являются актуальными задачами. Также следует учитывать возрастающие потребности в автоматах для GTAW отечественных перерабатывающей промышленности и др. отраслей экономики.

Значительную часть этих задач позволяют решить разработанные и сконструированные в 2008–2009 гг. в НИЦ СКАЭ совместно с ИЭС им. Е.О. Патона однопостовые автоматы АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 для GTAW без присадочной проволоки неповоротных стыков трубопроводов Ø от 7 до 76 мм с толщиной стенки до 3,0 мм из сталей аустенитного, перлитного и мартенситного классов, высоколегированных сплавов и стали 20 в условиях монтажа и ремонта объектов энергетики (в т.ч. АЭС и ТЭС) [11].

Основные технические параметры и характеристики автоматов АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 для GTAW приведены в *табл. 1*.

В состав каждого из автоматов АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 входят: многофункциональный источник питания ИЦ 616 УЗ.1 или ИЦ 617 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов; система управления, состоящая из блока контроллера ИЦ 616.20.00.000 и пульта управления выносного (пульта оператора) ИЦ 616.30.00.000; одна из головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, 625.03.00.000, 626.03.00.000 соответственно и коллектор АДЦ 625.07.00.000.

Схемо-конструктивное построение указанных автоматов выполнено таким образом, что их основные составные части являются общими и единичными для всех моделей автоматов, отличающихся друг от друга только головками сварочными. Это позволяет использовать любой из этих автоматов — с одной, двумя или тремя головками сварочными, по выбору Заказчика или конечного Потребителя и обеспечивать необходимую конфигурацию оборудования для GTAW с минимальными затратами.

Структурно-функциональные схемы автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 приведены на *рис. 1*.

Таблица 1. Основные технические параметры и характеристики автоматов АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 для GTAW

Наименование показателя	Значение		
	Обозначение модели автомата		
	АДЦ 627 УЗ.1	АДЦ 625 УЗ.1	АДЦ 626 УЗ.1
Диаметр свариваемых труб, мм	7–24	18–42	42–76
Пределы регулирования скорости сварки, м/ч	0,42–15,2; 1,36–48,80	1,9–33,5; 4,0–79,0	4,0–39,6; 7,2–71,6
Диаметр вольфрамового электрода, мм	1,6	2,0; 3,0	
Наибольшее радиальное перемещение горелки, мм	15,0	16,0	23,0
Наибольшее перемещение горелки поперек стыка, мм	±1,0	±5,0	
Охлаждение горелки	Газовое		
Пределы регулирования сварочного тока, А	8–250		
Пределы регулирования напряжения дуги, В	9–18		
Точность поддержания сварочного тока, не хуже, %	±2		
Точность поддержания напряжения дуги, не хуже, В	±0,20	±0,15	
Расположение электропривода вращения планшайбы	Параллельно продольной оси трубы		
Радиус вращающихся частей, не более, мм	55	68	80
Способ стабилизации длины дуги	Механический копир	АРНД	
Число проходов дуги	1–4		
Наименьшее межтрубное расстояние, мм	58	72	84
Масса головки сварочной (без массы шлангов и кабелей), не более, кг	3,0	3,5	4,9
Потребляемая электрическая мощность, не более, кВт	5,8		

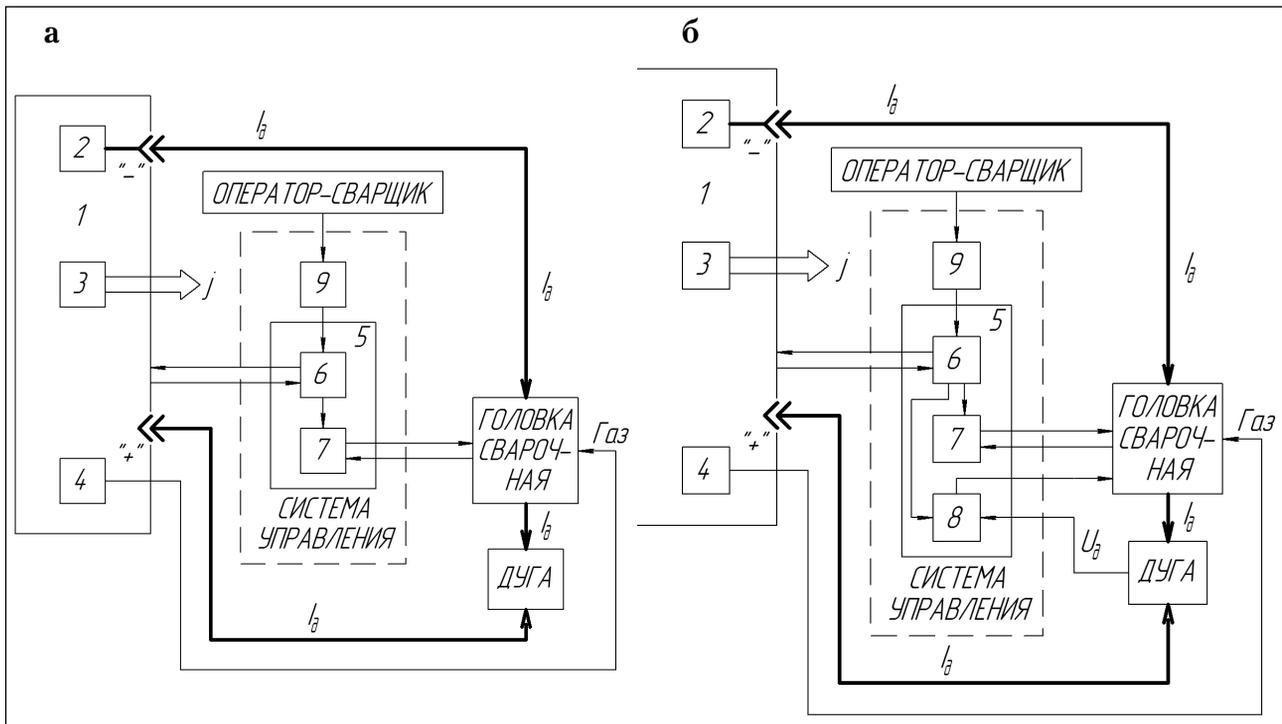


Рис. 1. Структурно-функциональные схемы автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1 (а), АДЦ 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 (б): 1 – сварочный источник питания ИЦ 616 УЗ.1, 617 УЗ.1 «чопперного» типа; блоки: 2 – возбуждения дуги последовательного включения; 3 – питания цепей управления; 5 – контроллера ИЦ 616.20.00.000; модули: 4 – газовой аппаратуры; 6 – контроллера цикла сварки; 7 – контроллера привода вращения; 8 – контроллера АРНД; 9 – пульт управления выносной ИЦ 616.30.00.000

Многофункциональный источник питания ИЦ 616 УЗ.1 (ИЦ 617 УЗ.1) для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов обеспечивает:

- формирование необходимых для процессов TIG или GTAW вертикальных («штыковых») внешних вольтамперных характеристик (ВАХ);
- предварительное задание значений сварочного тока и временных составляющих цикла сварки {длительностей интервалов времени: «газ до сварки» («pregas»), «плавное нарастание сварочного тока», «прогрев», «импульс сварочного тока», «пауза сварочного тока», «плавный спад сварочного тока» («заварка кратера»), «газ после сварки» («postgas»)};
- бесконтактное возбуждение сварочной дуги высоковольтным пробоем дугового промежутка при минимальном значении сварочного тока;
- стабилизацию заданных значений сварочного тока и временных параметров цикла сварки при воздействии внешних возмущений (колебаний напряжения питающей сети, изменений длины дугового промежутка и т.п.);
- возможность дистанционного управления и реализации режимов автоматической шагоимпульсной сварки, ручной и автоматической сварки модулированным током, а также циклов сварки в режимах 2Т, 4Т и в специальном режиме 4Т – I, циклограммы которых приведены на рис. 2–4.

По принципу действия источник питания ИЦ 616 УЗ.1 (ИЦ 617 УЗ.1) относится к сварочным источникам питания «чопперного» типа, имеющим такие же высокие динамические свойства и возможности управления, какими обладают сварочные источники питания инверторного типа. И хотя сварочные источники питания «чопперного» типа заметно уступают сварочным инверторам, они до последнего времени превосходили их по функциональной и эксплуатационной надежности и ремонтопригодности [12]. По сравнению со сварочными инверторами им присущи меньшее количество стадий преобразования потока энергии, передаваемой от питающей сети к сварочной дуге, размещение регулятора сварочного тока в низковольтной части этого потока, минимизация лавинообразного развития невосстанавливаемых отказов при возникновении аварии.

Составляющий основу системы управления автоматов АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 блок контроллера ИЦ 616.20.00.000 предназначен для:

- формирования сигналов управления включением, отключением и продолжительностью функционирования составных частей и механизмов автоматов в соответствии с заданными алгоритмами осуществления GTAW неповоротных стыков трубопроводов;
- обеспечения регулирования, обработки сигнала

лов обратных связей и поддержания в процессе сварки практически неизменными запрограммированных (заранее установленных) значений скорости перемещения горелки с неплавящимся электродом (скорости сварки), длины дугового промежутка, количества проходов дуги и направлений вращения планшайбы головки сварочной;

- автоматического осуществления изменений параметров цикла и режима сварки (сварочного тока, скорости сварки, направления вращения планшайбы головки сварочной) в зависимости от номера прохода дуги и стадии цикла сварки.

Основными функциональными узлами блока контроллера ИЦ 616.20.00.000 (рис. 1) являются модули контроллеров цикла сварки 6, привода вращения 7 и автоматического регулятора напряжения дуги (АРНД) – 8.

Модуль контроллера цикла сварки 6 вырабатывает сигналы, обеспечивающие реализацию заданных временных параметров цикла сварки способом GTAW и воспроизведение заданных значений сварочного тока, скорости сварки, количества проходов дуги и направления ее перемещения – в зависимости от диаметра, материала и толщины стенки свариваемого трубопровода.

Модуль контроллера привода вращения 7 предназначен для регулирования и поддержания в процессе сварки заданных значений скорости вращения планшайбы головки сварочной вокруг свариваемого трубопровода путем стабилизации этой скорости за счет обратной связи по скорости вращения вала электродвигателя мотор-редуктора вращателя головки сварочной, при этом напряжение обратной связи пропорционально числу импульсов, генерируемых энкодером, соосным со вторым выходом вала электродвигателя мотор – редуктора.

Модуль контроллера АРНД 8 обеспечивает стабилизацию в процессе сварки заданного значения напряжения дуги U_d за счет автоматической компенсации его отклонений от запрограммированного (заранее установленного) значения путем автоматической коррекции вертикального положения электрода головки сварочной относительно поверхности сварочной ванны. АРНД, примененный в автоматах АДЦ 625 УЗ.1, 626 УЗ.1, представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования, построенную на использовании пропорциональности напряжения дуги ее длине при сварке неплавящимся электродом [13, 14].

Система управления автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1, помимо блока контроллера ИЦ 616.20.00.000, включает пульт управления выносной ИЦ 616.30.00.000, содержащий органы управления, сигнализации и индикации, обеспечивающие выбор: рода работы автомата, вида режима управления, выбор режима сварки,

задание направления вращения планшайбы головки сварочной, предварительный контроль цикла сварки, наличия расхода инертного газа, задание значений напряжения дуги и скорости сварки, подрегулировку непосредственно в процессе сварки значения сварочного тока (в пределах $\pm 10\%$ от заданного значения), цифровую индикацию предварительно задаваемых и текущих значений сварочного тока (А), напряжения дуги (В), скорости вращения планшайбы головки сварочной (об./мин.), расхода инертного газа (л/мин.).

Внешний вид источника питания ИЦ 616 УЗ.1, 617 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов, блока контроллера ИЦ 616.20.00.000 и пульта управления выносного ИЦ 616.30.00.000 приведен на рис. 2.

Головки сварочные АДЦ 627.03.00.000, 625.03.00.000, 626.03.00.000, входящие в состав автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 соответственно, выполнены с применением унифицированных узлов и механизмов по конструктивной схеме, характерной для головок накидного типа. Конструкция каждой из этих головок позволяет осуществлять ее быстрые установку на свариваемый трубопровод и удаление с него одним оператором, а также надежную фиксацию на нем неподвижного корпуса головки, что исключает смещение головки вследствие толчков или вибрации. При этом обеспечиваются: необходимая точность установки головки (угол между продольной осью электрода и радиальной осью свариваемого трубопровода не превышает 2°), реверс направления вращения планшайбы головки по команде оператора или системы управления автоматов, возможности поперечного корректирования положения электрода относительно оси стыка свариваемого трубопровода, простая и быстрая замена изношенного вольфрамового электрода, ламинарное истечение инертного газа через рабочее отверстие защитного сопла горелки головки сварочной.

Каждая из головок сварочных автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 содержит неподвижный корпус облегченной конструкции, механизм зажима головки на свариваемом трубопроводе, вращающуюся вокруг продольной оси свариваемого трубопровода планшайбу, вращатель планшайбы, установленные на планшайбе горелку и механизм ее вертикального перемещения — системы АРНД в головках АДЦ 625.03.00.000, 626.03.00.000, и систему стабилизации длины дуги (СДД) с помощью механического копира в головке АДЦ 627.03.00.000. Неподвижный корпус каждой головки является несущей конструкцией для вращателя планшайбы и механизма зажима головки на свариваемом трубопроводе. Закрепление головки на свариваемом трубопроводе и ее расфиксация осуществляются с помощью двух захватов ме-

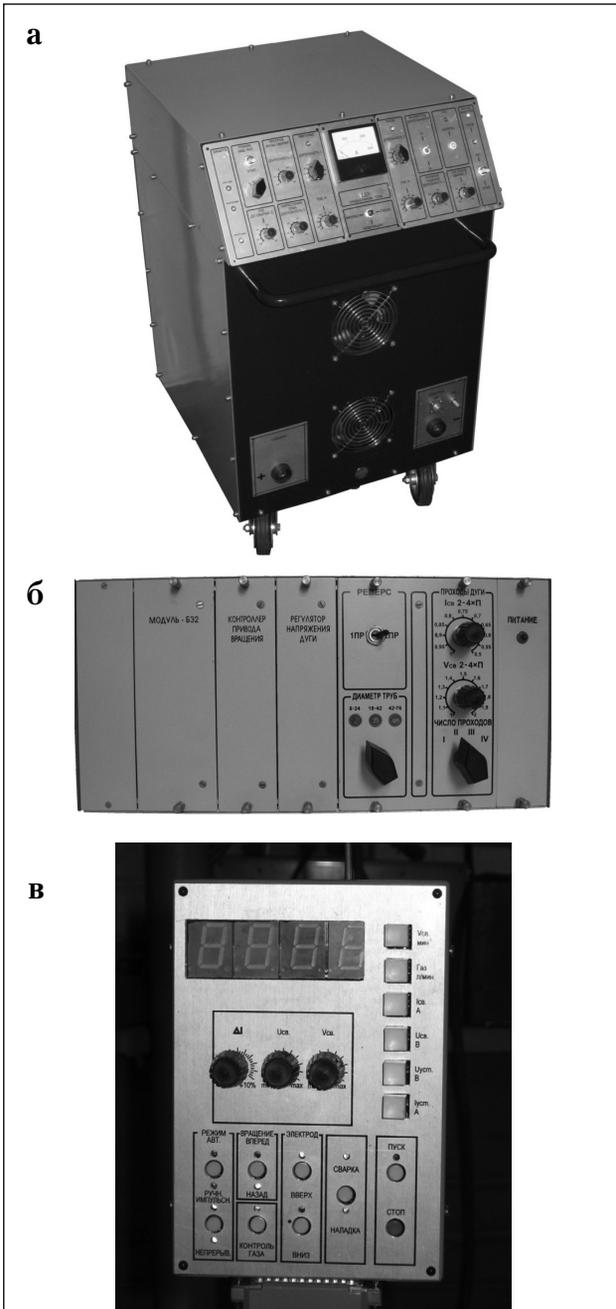


Рис. 2. Внешний вид источника питания ИЦ 616 УЗ.1, 617 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов (а), блока контроллера ИЦ 616.20.00.000 (б), пульта управления оператора выносного ИЦ 616.30.00.000 (в)

ханизма зажима, охватывающих часть внешней цилиндрической поверхности трубопровода, которые кинематически связаны с управляющим рычагом. Вращатель планшайбы состоит из редуктора, размещенного внутри неподвижного корпуса головки, и рукоятки со встроенными в нее мотор-редуктором и энкодером оптоэлектрического типа. Рукоятка вращателя параллельна продольной оси свариваемого трубопровода и может закрепляться в неподвижном корпусе головки в любом из двух противоположных направлений относительно плоскости планшайбы. Размеры и конструкция рукояток,

а также электродвигатели и энкодеры приводов вращателей всех трех головок унифицированы, приводы вращателя каждой из головок отличаются лишь коэффициентом редукции мотор – редукторов. Все вращатели головок выполнены по единой кинематической схеме. Горелки головок сварочных АДЦ 625.03.00.000, 626.03.00.000 унифицированы по составу и конструкции и отличаются друг от друга только длиной защитного керамического сопла, горелка головки АДЦ 627.03.00.000 отличается от вышеназванных горелок размерами, формой корпуса, цангой для фиксации электрода и местом расположения в ее корпусе патрубка для подсоединения токогазопровода.

Внешний вид головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, 625.03.00.000, 626.03.00.000 показан на *рис. 3*.

Любая из рассматриваемых головок сварочных к сварочному источнику питания ИЦ 616 УЗ.1 или 617 УЗ.1, блоку контроллера ИЦ 616.20.00.000, пульту управления выносному ИЦ 616.30.00.000 и системе газоснабжения подключается с помощью коллектора АДЦ 625.07.00.000, который может быть удален от головки сварочной на расстояние до 15 м. Всего при использовании сварочных автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 длина сварочного контура может составлять до 60 м, а при необходимости – до 100 м.

Автоматы для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 обеспечивают возможность двух видов работы – «Наладка» и «Сварка», двух способов управления – «Ручное» и «Автоматическое» и трех типов режимов сварки – «Непрерывный», «Импульсный» и «Сварка модулированным током».

Вид работы «Наладка» используется для контроля функционирования вращателя головки сварочной, проверки ее центровки и траектории вращения вдоль неповоротного стыка свариваемого трубопровода, проверки и регулировки вылета неплавящегося электрода и технологически обоснованной длины дугового промежутка, предварительной установки (задания) скорости вращения планшайбы головки сварочной и расхода инертного газа. Особенность вида работы «Наладка» заключается

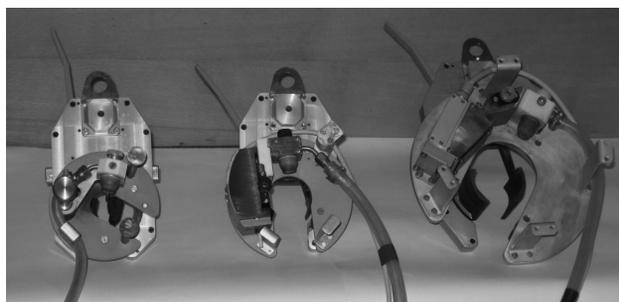


Рис. 3. Внешний вид головок сварочных АДЦ 627.03.00.000 (крайняя слева), 625.03.00.000 (посередине), 626.03.00.000 (крайняя справа)

в отсутствии тока в сварочной цепи. При виде работы «Наладка» и способе управления «Ручное» моменты начала и остановка вращения горелки головки сварочной задаются командами оператора с помощью кнопок «Пуск» и «Стоп» в пульте управления выносном ИЦ 616.30.00.000. При виде работы «Наладка» и способе управления «Автоматическое» момент начала вращения планшайбы головки сварочной также задается оператором, а остановка вращения происходит автоматически в момент завершения заданного количества полных оборотов планшайбы и с некоторым «перекрытием» участка стыка, соответствующего началу вращения.

Вид работы «Сварка» при режиме «Непрерывный» позволяет выполнять все стадии цикла сварки по всем его составляющим при поддержании в течение каждого прохода дуги неизменными заданными для этого прохода дуги значениями сварочного тока, напряжения дуги и скорости вращения планшайбы (скорости сварки) головки сварочной. Построение блока контроллера ИЦ 616.20.00.000 выполнено так, что при программировании (предварительной установке) параметров режима сварки для проходов дуги, следующих за первым, обеспечивается возможность плавного регулирования значений сварочного тока в пределах от 50 до 100% и скорости вращения планшайбы (скорости сварки) в пределах от 100 до 200% от этих же значений для первого прохода дуги.

При виде работы «Сварка» и режиме «Импульсный» обеспечивается процесс шаго-импульсной сварки, который осуществляется на двух следующих друг за другом с заданной периодичностью энергетических уровнях сварочного тока – «высоком», называемом импульс, и «низком» – называемом пауза, причем перемещение горелки головки сварочной происходит только в течение интервалов времени, соответствующих длительности пауз.

Режим «Сварка модулированным током» реализуется при виде работы «Сварка», режиме «Непрерывный» и установленном в положение «Модуляция» переключателя («Импульс – Модуляция – Пауза») на панели управления сварочного источника питания ИЦ 616 УЗ.1, 617 УЗ.1, при этом обеспечивается модуляция сварочного тока, а скорость вращения планшайбы головки сварочной (скорость сварки) в течение каждого полного прохода дуги поддерживается неизменной на заданном для этого прохода уровне.

Циклограммы режимов сварки, которые обеспечиваются автоматами для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1, приведены на *рис. 4–6*.

Проведенными ранее исследованиями [8, 15] установлено, что для достижения высокого качества сварных соединений неповоротных стыков трубопроводов при GTAW без подачи присадочной проволоки максимальное отклонение от заданных значений одного из

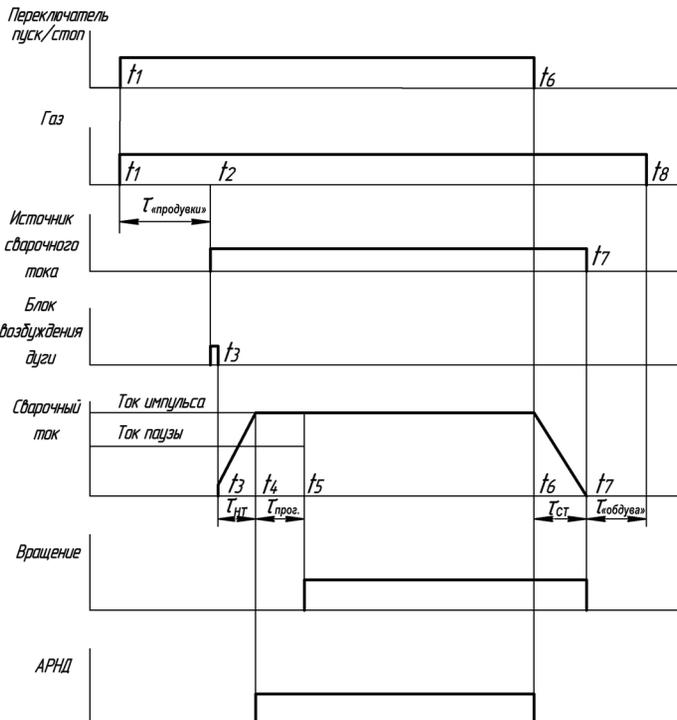


Рис. 4. Циклограмма процесса сварки автоматами для GTAW в непрерывном режиме. Интервалы времени: $\tau_{\text{«продувки»}}$ – «газ до сварки», $\tau_{\text{нт}}$ – длительность плавного нарастания сварочного тока, $\tau_{\text{прог.}}$ – «прогрев», $\tau_{\text{ст}}$ – длительность плавного спада сварочного тока («заварки кратера»); $\tau_{\text{«обдува»}}$ – «газ после сварки»

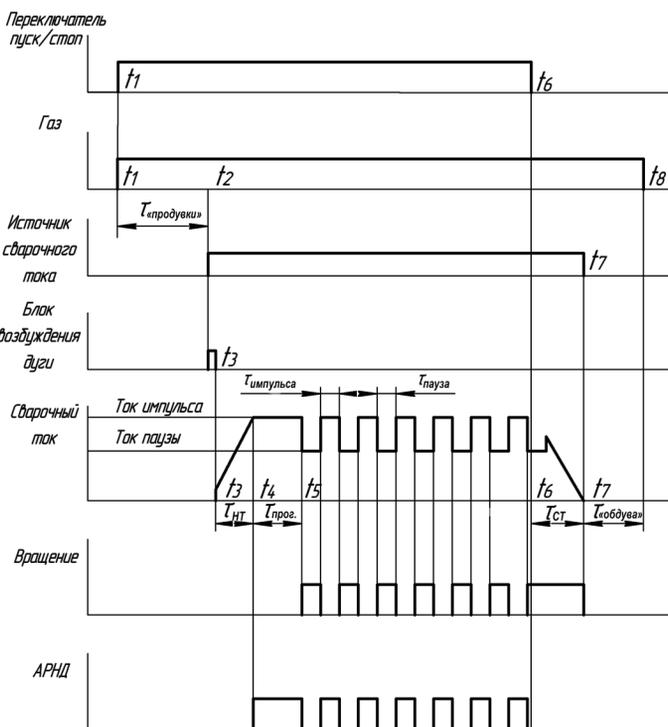


Рис. 5. Циклограмма процесса шаго-импульсной сварки автоматами для GTAW. Интервалы времени: $\tau_{\text{«продувки»}}$ – «газ до сварки», $\tau_{\text{нт}}$ – длительность плавного нарастания сварочного тока, $\tau_{\text{прог.}}$ – «прогрев», $\tau_{\text{ст}}$ – длительность плавного спада сварочного тока («заварки кратера»), $\tau_{\text{«обдува»}}$ – «газ после сварки»; длительности: $\tau_{\text{импульса}}$ – импульсов сварочного тока, $\tau_{\text{паузы}}$ – паузы сварочного тока

параметров режима сварки не должно превышать $\pm 14\%$ для сварочного тока, $\pm 13\%$ для напряжения дуги, $\pm 10\%$ для скорости сварки и $\pm 20\%$ для расхода инертного газа, а при одновременном внесении возмущений по всем параметрам режима сварки максимальные отклонения по каждому параметру не должны превышать $\pm 2,5\%$.

В автоматах АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 приведенные выше требования по точности поддержания в процессе GTAW заданных параметров режима сварки выполняются в полной мере (табл. 1). Это, а также схемотехнические и конструктивные решения указанных автоматов и их функциональные возможности позволяют осуществлять реализацию всех известных на сегодняшний день технологий GTAW тонкостенных трубопроводов, в т.ч. методами автоопрессовки, последовательного проплавления и сравнительно новым методом, получившим название «антиопрессовка» [8].

В 2008–2009 гг. по разработкам НИЦ СКАЭ и ИЭС им. Е.О. Патона в Украине было освоено промышленное изготовление автоматов АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 для предприятий отрасли атомной энергетики, ремонтных подразделений АЭС и др. предприятий Украины. Примерами успешного применения автоматов этой серии может служить их использование в серийном производстве ОП «Атомэнергомаш» ГП «НАЭК «Энергоатом» при GTAW в среде гелия герметизирующих соединений трубы с наконечником и заглушкой поглощающих элементов контейнеров системы сухого хранения отработанного ядерного топлива [16], в опытно-производстве ОП «КБ «Атомприлад» ГП «НАЭК «Энергоатом» при GTAW сварных соединений экспериментальных образцов чехлов каналов нейтронных измерительных ядерных энергетических реакторов ВВЭР-1000 [17], в серийном производстве ООО «ТИСЭР» (Киев) при монтаже трубных элементов теплообменных аппаратов пищевой промышленности, где только в течение 2016 г. с помощью автомата АДЦ 625 УЗ.1 была выполнена GTAW более 13 500 неповоротных стыков труб с номинальным диаметром 32 мм и толщиной стенки 2,0–2,5 мм из коррозионностойкой стали мартенситного класса (20X13).

Принимая во внимание, что разработка и освоение промышленного изготовления автоматов для GTAW (в т.ч. АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1) были осуществлены в Украине впервые, результаты их опытно-промышленного опробования и опыт эксплуатации в реальных производственных условиях выявили тенденции дальнейшего совершенствования этих автоматов. С этой целью в 2016–2017 гг. в

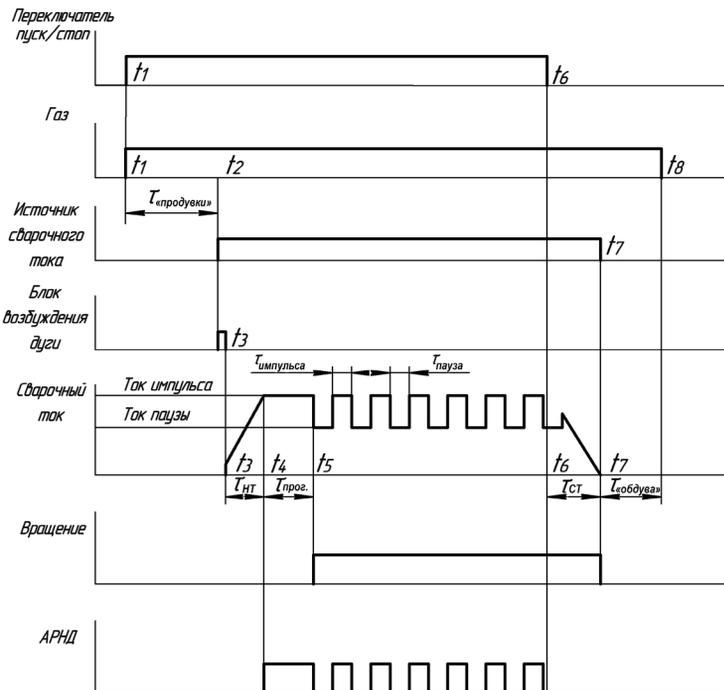


Рис. 6. Циклограмма процесса сварки модулированным током автоматами для GTAW. Интервалы времени: $\tau_{\text{«продувки»}}$ – «газ до сварки», $\tau_{\text{нт}}$ – длительность плавного нарастания сварочного тока, $\tau_{\text{прог.}}$ – «прогрев», $\tau_{\text{ст}}$ – длительность плавного спада сварочного тока («заварки кратера»); $\tau_{\text{«обдува»}}$ – «газ после сварки»; длительности: $\tau_{\text{импульса}}$ – импульсов сварочного тока, $\tau_{\text{паузы}}$ – паузы сварочного тока

НИЦ СКАЭ была проведена модернизация указанных автоматов.

В первую очередь, модернизации были подвергнуты сварочный источник питания автоматов, их система управления и коллектор АДЦ 625.07.00.000. В частности, произведена замена сварочного источника питания ИЦ 616 УЗ.1 (ИЦ 617 УЗ.1) на сварочный инвертор, так как функциональная и эксплуатационная надежность современных сварочных инверторов значительно возросла и к настоящему времени показатели надежности последних достигли необходимых значений. Немаловажным является и то, что себестоимость и рыночные цены серийных сварочных инверторов, в т.ч. предназначенных для TIG, ощутимо ниже по сравнению с аналогичными показателями сварочных источников питания «чопперного» типа. Использование в качестве сварочного источника автоматов для GTAW современных серийно изготавливаемых специализированных сварочных инверторов (с небольшими доработками их системы управления) позволяет существенно улучшить массогабаритные и эксплуатационные показатели упомянутых автоматов, а также положительно повлиять на их экономические характеристики.

При выборе сварочного инвертора главными критериями служат его способность обеспечивать требуемые для процессов TIG и GTAW внешние ВАХ (рис. 7), необходимые значения диапазона ре-

гулирования сварочного тока и напряжения холостого хода, а также возможность надежно функционировать в тяжелых производственных условиях.

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики основных параметров специализированного источника питания ИЦ 616 УЗ.1, 617 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов и некоторых моделей серийных сварочных инверторов для TIG.

Вместе с тем, несмотря на ряд преимуществ сварочных инверторов у них принципиально отсутствуют многие опции, присущие специализированным сварочным источникам питания «чопперного» типа. Поэтому использование в автоматах АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 сварочных инверторов возможно только при условии небольшой доработки их системы управления, создания и введения в состав этих автоматов обеспечивающего дистанционное управление сварочным источником питания дополнительного блока управления циклом сварки, а также глубокой переработки схемы и конструкции входящего в автоматы коллектора.

В процессе модернизации автоматов АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 были разработаны и спроектированы отсутствующие ранее блоки: управления циклом сварки ИЦ 616.40.00.000, пускозащитной аппаратуры ИЦ 616.50.00.000 и коллектор АДЦ 625.17.00.000.

В состав блока управления циклом сварки ИЦ 616.40.00.000 входят модули: управления ИЦ 616.40.10.000; питания NES-200-24 и NES-25-24; стабилизатора напряжения питания ИЦ 616.40.20.000; органы управления и сигнализации, в т.ч. регуляторы длительностей (резисторы переменные) ГАЗ ДО СВАРКИ, НАРАСТАНИЕ ТОКА, ПРОГРЕВ, ПЛАВНОЕ ГАШЕНИЕ (плавный

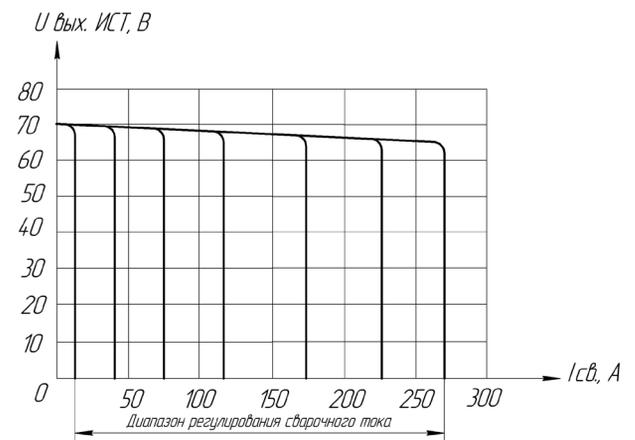


Рис. 7. Типичные внешние ВАХ сварочного источника питания, необходимые для осуществления качественного процесса сварки автоматами для GTAW и/или TIG

спад сварочного тока), ГАЗ ПОСЛЕ СВАРКИ, регуляторы уровней сварочного тока (резисторы переменные), ТОК, А, ИМПУЛЬС и ТОК, А, ПАУЗА, переключатели галетные (режимы: 2Т, 4Т, 4Т-II) и длительностей ДЛИТЕЛЬНОСТЬ, С, ИМПУЛЬС и ДЛИТЕЛЬНОСТЬ, С, ПАУЗА, выключатель СЕТЬ, микрогумблеры МНОЖИТЕЛЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ (x1, x5), ИМПУЛЬС – МОДУЛЯЦИЯ – ПАУЗА и БВД ВКЛ, кнопки ПРЕДУСТАНОВКИ ТОКА и ГАЗ КОНТРОЛЬ, световые индикаторы ГАЗ, ИМПУЛЬС, ПАУЗА, индикатор стрелочный сварочного тока (на базе амперметра щитового М42300).

Модуль управления ИЦ 616.40.10.000 функционирует как в режиме предварительной установки (программирования) токовой составляющей сварочного цикла (в режиме ПРЕДУСТАНОВКИ ТОКА), так и в режиме управления реализацией одного из вариантов сварочного цикла (2Т, 4Т или 4Т-II) и выполнен в виде печатного узла, в котором размещены все составляющие компоненты этого модуля.

Модуль питания NES-200–24 вырабатывает напряжение постоянного тока +24 В (относительно провода «Общий»), а блок питания NES-25–24 – напряжение постоянного тока минус 24 В, которые используются для питания цепей управления составных частей автомата и электроприводов его механизмов.

Модули питания NES-200–24 и NES-25–24 (производства фирмы «MEAN WELL») построены по схеме высокочастотного преобразователя АС-DC (инвертора) с жесткими внешними ВАХ, а также с огра-

нением тока максимально допустимой нагрузки, и обеспечивают гальваническую развязку от питающей сети переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц.

Основные технические характеристики блоков питания NES-200–24 и NES-25–24 приведены в *табл. 3*.

Модуль стабилизатора напряжения питания ИЦ 616.40.20.000 предназначен для преобразования выходных напряжений ± 24 В, вырабатываемых модулями питания NES-200–24 и NES-25–24, в напряжения постоянного тока +12 В и ± 15 В, необходимые для питания цепей электронных узлов автомата.

Основными составляющими модуля стабилизатора напряжения питания ИЦ 616.40.20.000 являются ВЧ-преобразователь DC-DC с гальванической развязкой входа и выхода, два линейных стабилизатора напряжений постоянного тока и электромагнитное реле цепи аварийной остановки автомата.

Линейные стабилизаторы напряжений постоянного тока, выполненные на интегральных стабилизаторах 78 и 79-й серий, обеспечивают формирование из входных напряжений ± 24 В соответственно стабилизированных напряжений ± 15 В.

Входящее в состав модуля стабилизатора напряжения питания ИЦ 616.40.20.000 электромагнитное реле с катушкой, рассчитанной на номинальное напряжение 24 В постоянного тока, срабатывает при поступлении на него сигнала АВАРИЙНЫЙ СТОП с пульта управления выносного ИЦ 616.30.00.000 (т.е. при нажатом состоянии кнопки АВАРИЙНЫЙ СТОП в этом пульте). Вследствие срабатывания

Таблица 2. Сравнительные характеристики основных параметров сварочного источника питания ИЦ 616 УЗ.1, ИЦ 617 УЗ.1 «чопперного» типа и некоторых моделей серийных сварочных инверторов типа АС-DC для ТIG

Наименование показателя	Значение		
	Обозначение модели сварочного источника питания		
	ТЕХ АС ТА 210–00–031	Kaiser Welding TIG –250	ИЦ 616 УЗ.1 (ИЦ 617 УЗ.1)
Номинальный сварочный ток, А	200	250	
Пределы регулирования сварочного тока, А	5–210	10–250	8–260
Напряжение холостого хода, не более, В	65	75	72
Наличие блока питания цепей управления автоматов	нет		
Наличие отсекающего газа (газового клапана)	Есть		
Наличие датчика расхода газа	нет		есть
Возможность обеспечения режимов шаго-импульсной сварки и сварки модулированным током	нет		есть
Охлаждение	Воздушно-принудительное		
Номинальное напряжение питающей сети частотой 50 Гц, В	220		380
Число фаз напряжения питающей сети	1		3
Потребляемая электрическая мощность, не более, кВт	8,2	6,6	6,9
Продолжительность нагрузки (ПН) при номинальном сварочном токе, не менее, %	80	60	60
Коэффициент полезного действия (КПД), не менее, %	82	80	80
Габаритные размеры (Д×Ш×В), не более, мм	385×160×245	460×200×250	465×650×800
Масса, не более, кг	8,5	8,2	78,5

Таблица 3. Основные технические характеристики модулей питания NES-200–24 и NES-25–24

Наименование параметра	Значение	
	Типоразмер блока питания	
	NES-200–24	NES-25–24
Номинальная выходная мощность, Вт	211	26
Диапазон входных напряжений переменного тока частотой от 47 до 63 Гц, в пределах, В	180–264	85–264
Номинальное выходное напряжение постоянного тока, В	24	
Наибольший допустимый ток нагрузки, А	8,8	1,1
Диапазон регулирования выходного напряжения постоянного тока, в пределах, В	20,0–26,4	
Наибольший уровень пульсаций выходного напряжения постоянного тока, мВ	150	
Наибольшее отклонение выходного напряжения постоянного тока от заданного уровня, %	±1,0	
Допустимое превышение мощности нагрузки относительно номинального значения выходной мощности, в пределах, %	105–150	
КПД при номинальной выходной мощности, не менее, %	87	86
Габаритные размеры, не более, мм	215×115×50	99×82×35
Масса, не более, кг	0,93	0,30

Примечание. Возможно применение др. блоков питания с аналогичными техническими характеристиками.

этого реле его разомкнутый контакт устанавливается в замкнутое состояние. На катушку независимого расцепителя выключателя автоматического блока пускозащитной аппаратуры ИЦ 616.50.00.000 поступает напряжение постоянного тока ±24 В, что приводит к практически мгновенному и полному обесточиванию автомата и его составных частей.

Блок управления циклом сварки ИЦ 616.40.00.000 – функционально законченное устройство, которое может применяться как совместно с блоком контроллера ИЦ 616.20.00.000 – при автоматической орбитальной сварке (GTAW), так и отдельно – при ручной сварке неплавящимся электродом в среде инертных газов (TIG) с доработанными сварочными инверторами или традиционными источниками питания для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов. Конструктивно блок управления циклом сварки ИЦ 616.40.00.000 выполнен в виде моноблока, который может быть прикреплен к входящему в состав автоматов АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 блоку контроллера ИЦ 616.20.00.000 или использован автономно.

Основным компонентом блока пускозащитной аппаратуры ИЦ 616.50.00.000 является выключатель автоматический с током тепловых расцепителей (18–20 А) и независимым расцепителем, номинальное напряжение питания которого составляет 24 В постоянного тока. В случаях длительного превышения током потребления по любой из фаз напряжения питающей сети значения тока установки тепловых расцепителей выключателя автоматического или в случае образования короткого замыкания в цепях источника питания сварочной дуги или др. составных частях автомата произойдет автоматическое срабатывание выключателя. Выключатель автоматический перейдет в положение «ОТКЛ» и т.о. обеспечит полное обесточивание автомата и его составных частей. Аналогично этому полное обесточивание автомата и его составных частей произойдет

и при поступлении соответствующего напряжения постоянного тока на клеммы независимого расцепителя выключателя, т.к. срабатывание этого расцепителя вызовет автоматический переход выключателя в положение «ОТКЛ» за счет наличия кинематической связи независимого расцепителя с контактным механизмом этого выключателя.

Блок пускозащитной аппаратуры ИЦ 616.50.00.000 выполнен в виде закрепляемой на стеллаже автомата моноблочной конструкции, имеющей оболочку. Для защитного заземления внутренних цепей блока ИЦ 616.50.00.000 в нем предусмотрена клемма заземления внутренняя, а для защиты оболочки блока и персонала, работающего с автоматом и осуществляющего его ремонт и техническое обслуживание – клемма заземления наружная.

Модернизированный коллектор АДЦ 625.17.00.000 содержит блок возбуждения дуги (БВД), состоящий из модуля управления ИЦ 616.09.01.000 и трансформатора импульсного высоковольтного ИЦ 616.09.06.000, датчик расхода газа, силовые гнезда и штекеры, газовые штуцеры, сигнальные розетки и вилки, а также является коммутационным устройством, предназначенным для обеспечения соединений токогазопровода горелки, входящей в состав головки сварочной с полюсом «минус» сварочного источника питания и магистралью газоснабжения автомата. Кроме того, коллектор АДЦ 625.17.00.000 обеспечивает соединения свариваемого изделия с полюсом «плюс» сварочного источника питания, электромеханических приводов и цепей управления головки сварочной с блоком контроллера ИЦ 616.20.00.000, а также пульта управления выносного ИЦ 616.30.00.000 с блоком контроллера ИЦ 616.20.00.000. Такое построение коллектора АДЦ 625.17.00.000 существенно облегчает первоначальное возбуждение дуги (за счет значительного укорочения контура высокочастотного возбуждения), повышает сте-

пень защиты сварочного источника питания от воздействия генерируемых БВД высоковольтных импульсов и обеспечивает возможность выполнения БВД с питанием напряжением холостого хода сварочного источника питания. Наличие в составе коллектора АДЦ 625.17.00.000 датчика расхода газа позволяет устранить один из недостатков серийных сварочных инверторов, в которых такой датчик отсутствует. Следует отметить, что в состав модуля управления ИЦ 616.09.01.00 БВД коллектора АДЦ 625.17.00.00 также входят разработанные в НИЦ СКАЭ узел защиты автомата от отсутствия силового кабеля, соединяющего коллектор АДЦ 625.17.00.000 со свариваемым изделием, и узел формирования и фильтрации (УФНП) однополярного напряжения питания датчика расхода газа. Особенность функционирования узла защиты заключается в том, что в случае отсутствия сигнала БВД ВКЛ или соединения штатным силовым кабелем соответствующего гнезда коллектора АДЦ 625.17.00.000 со свариваемым изделием включение БВД становится невозможным. Тем самым повышается эксплуатационная надежность автоматов АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 и исключается опасность их повреждений при ошибочных или недостаточных соединениях их сварочных контуров.

УФНП обеспечивает формирование стабилизированного напряжения питания (+10 В) датчика расхода газа из поступающего в коллектор АДЦ 625.07.00.000 напряжения +15 В, которое в УФНП подвергается фильтрации от высокочастотных пульсаций, помех и наводок и ограничению на уровне +10 В.

Структурно-функциональные схемы модернизированных автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 приведены на рис. 8 и 9.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. По своим технологическим возможностям, эксплуатационным, функциональным, энергетическим характеристикам и показателям отечественные автоматы для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 не уступают аналогичным автоматам зарубежного производства (а по некоторым и превосходят последние) и могут обеспечить существенное повышение производительности сварочных работ и качества сварных соединений при монтаже и ремонте (преимущественно методами автоопрессовки и последовательного проплавления) неповоротных стыков трубопроводов и др. цилиндрических металлоконструкций диаметром от 7 до 76 мм с толщиной стенки до 3,0 мм из сталей аустенитного класса и — до 2,5 мм из сталей перлитного и мартенситного классов, цветных металлов и сплавов (кроме алюминия и его сплавов), что позволяет практически полностью отказаться от импорта подобного сварочного оборудования.

2. Создание и освоение промышленного изготовления и совершенствование путем модерниза-

ции отечественных автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 позволяет оснастить монтажные организации, ремонтные подразделения АЭС, предприятия атомной и др. отраслей экономики современным отечественным сварочным оборудованием, обеспечивающим возможность реализации как ранее отработанных, так и новых технологий GTAW неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов, что подтверждено опытно-промышленным опробованием этих автоматов и результатами их промышленной эксплуатации.

3. Достижение высокого уровня унификации составных частей модернизированных автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 предоставляет возможности эффективной и гибкой эксплуатации этих автоматов, сужения номенклатуры и уменьшения количества оборудования, необходимого для выполнения сварочных работ при монтаже и ремонте объектов энергетики и др. крупных объектов различных отраслей экономики, снижения эксплуатационных расходов на это оборудование, организации (впервые в мировой практике) многопостовых систем автоматической орбитальной сварки, ускорения подготовки оперативного и обслуживающего персонала.

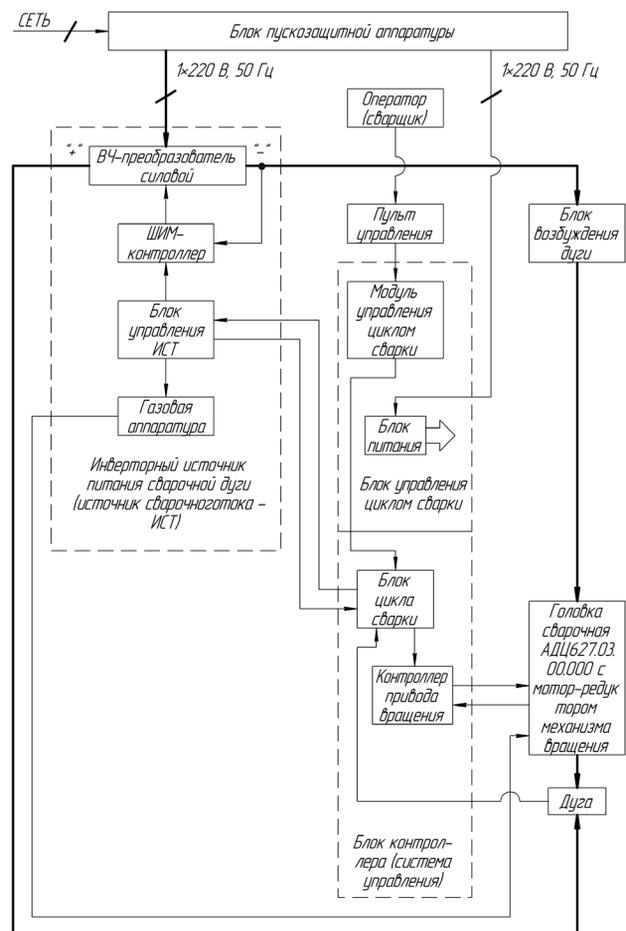


Рис. 8. Структурно-функциональная схема автомата АДЦ 627 УЗ.1 для GTAW

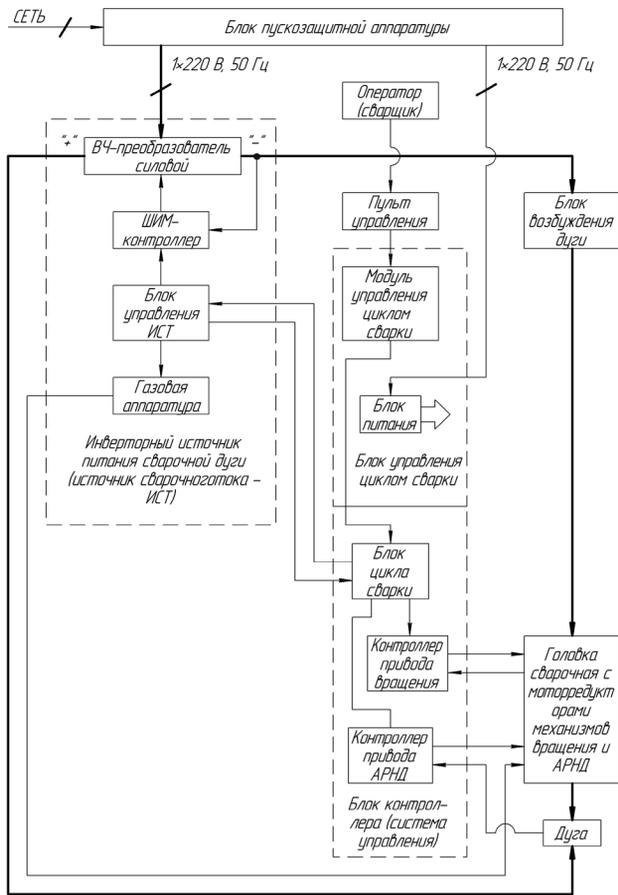


Рис. 9. Структурно-функциональные схемы автоматов АДЦ 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 для GTAW

4. Направлениями дальнейшего развития технического уровня автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 являются расширение их функциональных и технологических возможностей путем совершенствования систем управления за счет создания банка типовых режимов сварки, применения микропроцессоров и энергонезависимой памяти.

В заключение авторы считают необходимым отметить, что в разработке отечественных автоматов для GTAW активное и непосредственное участие приняли: инженер В.Л. Кобрянский, в отработке технологических процессов GTAW неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов – инженеры В.М. Гавва, А.Д. Чередник, А.В. Ткаченко, А.В. Бурба, А.А. Муха, в освоении промышленного производства автоматов для GTAW АДЦ 627 УЗ.1, 625 УЗ.1, 626 УЗ.1 – инженеры А.А. Свириденко, Н.М. Пасечный, В. Н. Андрейченко, В. Е. Иванов, В. П. Тищенко, Г.И. Писарев и др., во внедрении в отрасли атомной энергетики – к.т.н. В.А. Дюков, инженеры В.М. Пышный, С.И. Лавров, В.Б. Гонтарев, В.Б. Кудряшев, А.В. Ковалюк.

Литература

1. Гриненко В.И., Роцин В.В., Хаванов В.А., Полосков С.И. К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций // Технолог. маш-ения. – 2008. – № 8. – С. 48–51.

2. ПН АЭ Г-7–008–89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок / Госатомнадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 168 с.

3. ПН АЭ Г-7–009–90, ПН АЭ Г-7–010–90. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения. / Госатомнадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 320 с.

4. Камерон И. Ядерные реакторы / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.

5. Белкин С.А., Шефель В.В. Автоматическая аргодуговая сварка при монтаже трубопроводов АЭС // Энергетическое стр-во. – 1985. – № 11. – С. 43–46.

6. Галышев В.К. Применение автоматической сварки при монтаже трубопроводов Запорожской АЭС // Там же. – 1988. – № 3. – С. 9–10.

7. Шефель В.В. Состояние и перспективы разработки нового малогабаритного трубосварочного оборудования // Там же. – 1988. – № 12. – С. 3–4.

8. Букаров В.А. Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах // Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ. – М.: Издат АТ, 2002. – Т. 1. – С. 149–201.

9. <http://www.polysoude.com>

10. <http://www.esab.com>

11. Махлин Н.М., Коротынский А.Е., Богдановский В.А., Омельченко И.А., Свириденко А.А. Одно- и многопостовые системы для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций // Автомат. сварка. – 2011. – № 11. – С. 34–44.

12. Павленко Г.В., Сорока В.Л., Верна В.В. Тенденции совершенствования источников питания для сварки // Сварщик. – 2001. – № 6. – С. 33.

13. Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособ. / Под ред. В.В. Смирнова. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.

14. Гладков Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке. Учеб. пособ. – М.: Академия, 2006. – 432 с.

15. Полосков С.И., Букаров В.А., Ищенко Ю.С. Влияние отклонений параметров режима аргодуговой сварки неповоротных стыков труб на качество сварных соединений // Сварка и смежные технологии. Всерос. науч.-техн. конф.: Сб. докл. – М.: МЭИ (ТУ), 2000. – С. 22–25.

16. Богдановский В.А., Гавва В.М., Махлин Н.М. и др. Применение автоматической орбитальной сварки при изготовлении поглощающих вставок контейнеров хранения отработанного ядерного топлива // Автомат. сварка. – 2011. – № 12. – С. 41–45.

17. Махлин Н.М., Попов В.Е., Федоренко Н.С. и др. Применение автоматической орбитальной сварки при изготовлении чехлов каналов нейтронных измерительных ядерных реакторов // Там же. – 2013. – № 6. – С. 29–34.



Если у Вас возникли вопросы по технологии сварки, организации рабочих мест сварщиков, правильному выбору сварочных материалов и оборудования, Вы можете отправить письмо в редакцию журнала по адресу: 03150, Киев, а/я 337 или e-mail: demuv@ukr.net, позвонить по тел. +38(044) 205 26 07, м. (050) 331 56 65. На Ваши вопросы ответит кандидат технических наук, Международный инженер-сварщик (IWE) Юрий Владимирович ДЕМЧЕНКО.

Расскажите о контактной сварке алюминия и его сплавов.

А. А. Цветков, Харьков

Из существующих способов контактной сварки для алюминия и его сплавов наиболее широко применяется точечная и шовная сварка.

Для получения качественных соединений особое внимание следует обратить на подготовку поверхности деталей. Листовые элементы перед точечной и роликовой сваркой зачищают с двух сторон на ширине 30–50 мм в местах расположения сварных точек или швов. Лучшие результаты дает химическая очистка — травление деталей в специальных ваннах после предварительного обезжиривания. Рекомендуется травление выполнять при 17–25 °С в водном растворе концентрированной ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) с добавкой 0,1–0,3 мас.% хромпика ($K_2Cr_2O_7$). Продолжительность травления 10–15 мин, далее просушка горячим воздухом ($T = 70–80\text{ }^\circ\text{C}$). После травления допускается хранение деталей перед сваркой до трех суток при использовании машин переменного тока и до 24 ч при сварке запасенной энергией.

Точечная сварка алюминия и его сплавов связана с некоторыми трудностями. Поскольку алюминий обладает высокой электропроводностью, сварка сопровождается перегревом металла у контакта между электродом и деталью и как следствие их свариванием. Для того чтобы исключить это отрицательное явление, в ряде случаев применяют теплоизолирующие прокладки 1 из стали 12Х18Н9 толщиной 0,2–0,5 мм между электродом 2 и деталью из алюминия 3 (рис. 1). Такие прокладки не привариваются к деталям. При сварке алюминиевых сплавов необходимо обеспечивать небольшое и по возможности постоянное электросопротивление пленки окислов на поверхности изделия: при сварке на машинах переменного тока — 100÷300 мкОм, при использовании запасенной энергии — менее 100 мкОм.

Для алюминия и его сплавов точечная сварка применяется при толщине металла от 0,04

до 5–6 мм. Наиболее характерные типы соединений, выполняемые точечной сваркой показаны на рис. 2. Элементы, собранные под сварку, должны плотно прилегать друг к другу; допускаются зазоры не более 0,3 мм на длине 100 мм.

Точечная сварка алюминия и его сплавов требует применения сварочных токов весьма большой плотности — до 1 000 А/мм² и выше, что значительно превосходит плотность тока при сварке малоуглеродистой стали. Применяемые токи в 3–4 раза больше, чем при сварке стали (табл. 1). Рекомендуемое удельное давление — от 6 до 10 кгс/мм² (59–98 МПа). Диаметр ядра точки при сварке алюминия толщиной 2–3 мм составляет 8–11 мм. В результате нагрева при точечной сварке алюминиевые сплавы разупрочняются, причем размеры зон разупрочнения зависят от времени сварки, поэтому сплавы такого типа сваривают при сравнительно коротких импульсах тока продолжительностью 0,08–0,3 с (жесткие режимы). В зависимости от толщины металла применяют следующие радиусы сферы электродов:

Толщина металла, мм	1	2	>3
Радиус сферы электрода, мм	75	100	150

При сварке легких сплавов обеспечивается минимальное выделение тепла в контакте электрод — деталь и интенсивное охлаждение электрода.

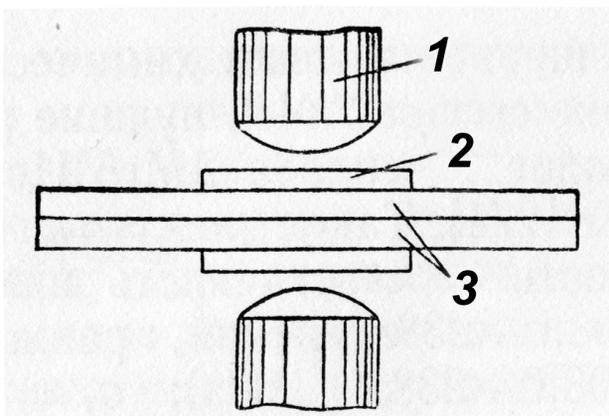


Рис. 1. Схема точечной сварки алюминия с использованием прокладок из нержавеющей стали 12Х18Н9: 1 — электрод; 2 — прокладка; 3 — свариваемые детали

Таблица 1. Ориентировочные режимы точечной сварки алюминиевых сплавов

Марка	b, мм	Усилие на электрод, кгс (кН)	I _{св} , кА	τ, с
Технический алюминий	0,5+0,5	250 (2,45)	15	0,08
	1,5+1,5	290 (2,84)	22	0,10
	2,5+2,5	350 (3,43)	28	0,16
	4,8+4,8	420 (4,12)	42	0,30
АМг-АМ	0,5+0,5	130 (1,28)	22	0,04
	1,0+1,0	250 (2,45)	30	0,06
	1,5+1,5	350 (3,43)	34	0,08
	2,0+2,0	500 (4,91)	38	0,10
АМг6Т	1,5+1,5	800 (7,85)	46,0	0,21
	2,0+2,0	690 (6,77)	33,4	0,23
	3,0+3,0	700 (6,87)	41,5	0,22
АМц-АМ	1,0+1,0	500 (4,91)	43,0	0,13
	2,0+2,0	625 (6,13)	42,5	0,23
	3,0+3,0	910 (8,93)	53,0	0,18
Д16-АТ	0,5+0,5	220 (2,16)	23	0,08
	0,8+0,8	350 (3,4)	27	0,10
	1,0+1,0	450 (4,41)	28	0,12
	1,5+1,5	650 (6,38)	34	0,16

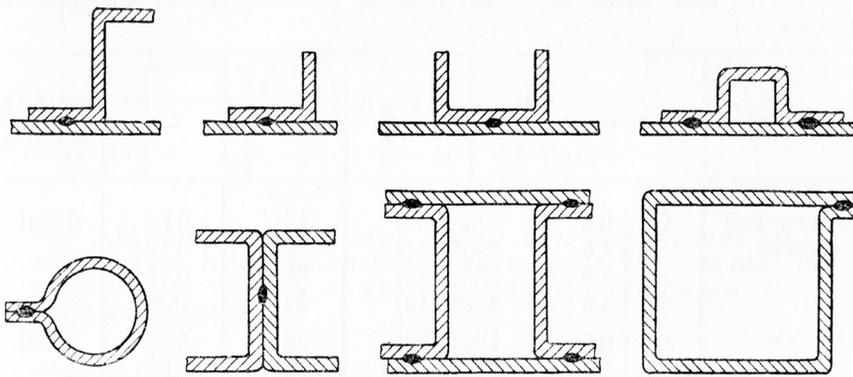


Рис. 2. Типы соединений при точечной сварке алюминия и его сплавов

В связи с этим электропроводность сплава для изготовления электродов должна быть не ниже 85–90% проводимости меди.

При точечной сварке высокопрочных алюминиевых сплавов, начиная с толщин 1,5–2 мм, лучшее уплотнение ядра и соответственно устранение склонности сварной точки к порам и трещинам достигаются при использовании графика переменного усилия с «ковочным» давлением P_k (рис. 3). Обычно

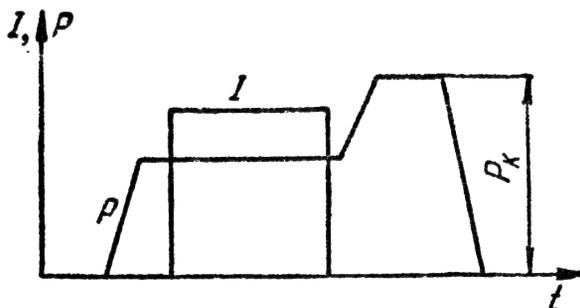


Рис. 3. Циклограмма одноимпульсной точечной сварки алюминиевых сплавов с «ковочным» давлением (P_k)

принимают $P_k = 1,5–3 P_{св}$, где $P_{св}$ — усилие, приложенное к электродам во время сварочного нагрева. Так, для сплава Д16-АТ при толщине листа 1,5 мм $P_{св} = 650$ кгс, а $P_k = 1\ 000–1\ 200$ кгс (9 810–11 800 Н). Для того чтобы избежать перегрева металла в контакте электрод–деталь, уменьшить износ электродов и улучшить качество поверхности деталей из алюминиевых сплавов, в ряде случаев (например для

ответственных деталей) применяют модулирование импульса сварочного тока с постепенными его нарастанием и спадом (рис. 4).

Для точечной сварки металла малых толщин (0,02–0,5 мм) используют конденсаторную сварку на машинах типа ТКМ-4 мощностью 100 Вт и др.

При сварке алюминиевых сплавов точки, обладающая высокой прочностью при работе на срез, значительно хуже сопротивляются разрыву (табл. 2).

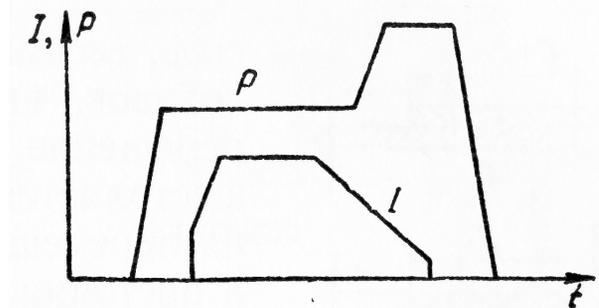


Рис. 4. Циклограмма точечной сварки с постепенными нарастанием и спадом тока

Таблица 2. Среднее разрушающее усилие сварных точек на алюминиевых сплавах

Марка	b, мм	Диаметр ядра, мм	Разрушающее усилие	
			на срез, кгс (Н)	на отрыв, кгс (Н)
АМц-АМ	2,0+2,0	8,5	534 (5238,5)	393 (3855,3)
	3,0+3,0	11,0	730 (7161,3)	616 (6043,0)
АМг5В	2,0+2,0	8,0	550 (5395,5)	250 (2452,5)
	2,5+2,5	9,0	620 (6082,2)	280 (2746,8)
АМг6Т	2,0+2,0	9,0	853 (8367,9)	406 (3982,9)
	3,0+3,0	10,5	948 (9299,9)	381 (3737,6)
Д16-АМ	2,0+3,0	8,5	670 (6572,7)	287 (2815,5)
	2,5+2,5	10,0	805 (7897,1)	345 (3384,5)
Д16-АТ	2,0+2,0	9,0	659 (6464,8)	239 (2344,6)
	3,0+3,0	10,5	1082 (10614,4)	402 (3943,6)

Таблица 3. Ориентировочные режимы прерывистой шовной сварки алюминиевых сплавов

Толщина листа, мм	Ширина ролика, мм	I _{св.} , кА	t _с		Усилие сжатия, кгс (Н)	v _{св.} , м/мин (1·10 ⁻³ м/с)	Прерывистый шаг точки, мм
			действия тока	паузы			
0,6+0,6	2,8	26	0,04	0,08	270 (2648,7)	0,7 (11,7)	1,4
1,0+1,0	3,6	32	0,06	0,1	340 (3335,4)	0,75 (12,5)	2,0
1,5+1,5	4,8	38	0,06	0,18	430 (4218,8)	0,65 (10,8)	2,5
2,0+2,0	6,6	41	0,08	0,24	490 (4806,9)	0,5 (8,8)	2,5

Шовная сварка успешно используется при изготовлении изделий из алюминиевых сплавов толщиной до 4 мм, требующих герметичности. Для легких сплавов на основе алюминия и магния такая сварка осуществляется двумя способами: прерывистым и шаговым. При первом способе свариваемые детали перемещаются относительно электродов машины непрерывно, а сварочный ток включается импульсами длительностью t_{им}, чередующимися с паузами t_п. Прерывистое включение тока позволяет исключить перегрев поверхности свариваемых деталей и резко снижает износ электродов. Для алюминиевых сплавов t_{им} / t_п = 0,3–0,45. При втором способе, весьма эффективном для алюминиевых сплавов, включение сварочного тока и перемещение деталей чередуется: сварка осуществляется при неподвижных деталях, а их перемещение — при выключенном токе и постоянном давлении.

Основные типы соединений при шовной сварке алюминия такие же, как для стали и др. металлов (рис. 5); размер C принимается в зависимости от толщины сплава:

b, мм	1	1,5	2
C, мм	14	17	20

Ширина рабочей части роликов равна 2–12 мм и увеличивается с ростом толщины свариваемого металла. Диаметр электрода составляет 150–200 мм. При толщине металла 0,5 мм применяют электроды меньшего диаметра — 40÷50 мм. Для сварки легких сплавов используют ролики со сферической рабочей поверхностью. При шовной

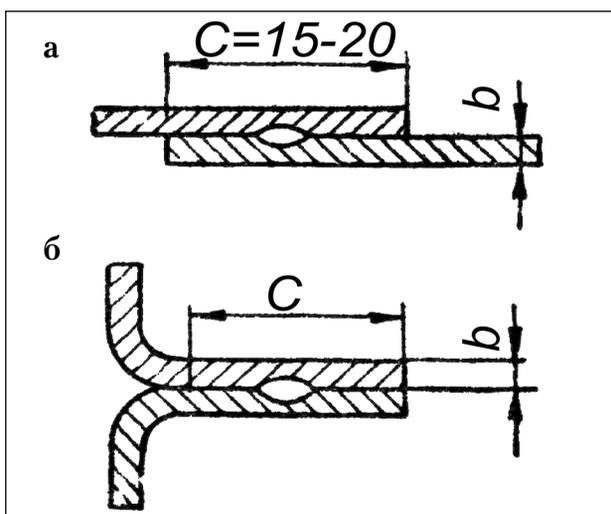


Рис. 5. Основные типовые соединения при шовной сварке алюминия и его сплавов: а – внахлестку, б – бортовое

сварке алюминия и его сплавов необходимо обеспечить протекание значительного тока в сварочной цепи (табл. 3). Поэтому применяют роликовые машины большой мощности (250–350 кВ·А).

Усилия сжатия электродов близки к усилиям для низкоуглеродистой стали той же толщины. Скорость сварки ниже, чем для стали, и лежит в пределах 0,5–1,0 м/мин (0,008–0,017 м/с). Она уменьшается с увеличением толщины свариваемых деталей.

Существенное влияние на качество шва при шовной сварке, как и при точечной, оказывает состояние поверхности сплава.

Результаты участия в выставке «Schweissen & Schneiden 2017» специалистов ИЭС им. Е.О. Патона*

17 ноября 2017 г. в ИЭС им. Е. О. Патона состоялась технический семинар, посвященный международной выставке «Schweissen & Schneiden 2017», 25–29.09 2017 (Дюссельдорф, Германия). В семинаре приняли участие руководители и ведущие специалисты подразделений Института, в первую очередь те, кто непосредственно работал на объединенном стенде украинских компаний, организованном Международной Ассоциацией «Сварка».

Указанная выставка проводится раз в четыре года и представляет участникам и посетителям обзор последних разработок и инноваций отрасли. Она по праву считается ключевой среди мировых промышленных выставок в области сварки и родственных технологий. Ее называют Сварочной олимпиадой из-за масштабности и значимости мероприятия. Посетителей и экспонентов со всех пяти континентов привлекает ее заслуженная репутация эффективной платформы для развития успешного бизнеса. В качестве экспонентов в ней приняли участие 1035 компаний и организаций из 41 страны (33% экспонентов из Германии), а в качестве посетителей — около 50 000 специалистов из более чем 120 стран мира. Международный характер выставки нашел свое отражение и в том, что экспозиции компаний из Кореи, Франции, Тайваня, США, Китая и Японии были представлены на объединенных стендах компаний из этих стран.

Экспозиция ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ также была представлена на объединенном стенде украинских компаний, среди которых были ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона, Каховский завод электросварочного оборудования, компании «Плазма-Мастер», «Стил-Ворк», «Сумы-Электрод», «ТМ. Велтек» и «План-Т». На стендах выставки были представлены самостоятельно такие компании, как: «ПлазмаТек», «Витаполис» и «Донмет».

На семинаре были заслушаны сообщения специалистов ИЭС — участников выставки по ряду направлений развития сварочного производства:

Лучевые технологии и оборудование (докладчик И.В. Кривцун). Это направление было представлено довольно широко. Лазерная сварка металлов была представлена на стендах 84 компаний,



Объединенный стенд украинских компаний



Выступает зам. директора ИЭС академик И.В. Кривцун лазерная резка — на 44, лазерная наплавка — на 40, лазерная пайка — на 29 стендах, лазерная сварка пластмасс — на 21 стенде.

Лазерное оборудование для реализации указанных технологий было продемонстрировано такими хорошо известными фирмами, как IPG Laser, TRUMPF, Laserline, Coherent-ROFIN, Precitec, HIGHYAG Lasertechnologie и др. Интересно отметить, что на выставке практически не были представлены технологические газовые CO₂-лазеры. Даже такая известная компания-производитель мощных CO₂-лазеров, как ROFIN продемонстрировала только волоконный лазер с диодной накачкой мощностью 10 кВт. Широкая гамма волоконных лазеров традиционно была представлена фирмой IPG Laser. Это серия одномодовых лазеров для резки, сверления, сварки и термической обработки металлов мощностью 100 Вт–2 кВт (YLR-Series) с минимальным значением параметра пучка (< 2 мм-мрад). Были представлены две серии более мощных волоконных лазеров, предназ-

* по материалам семинара в ИЭС им. Е. О. Патона, опубликованным в журнале «Автоматическая сварка» № 12–2017

наченных для 2D/3D резки металлов различных толщин, сварки и обработки материалов с высокой отражательной способностью (медные и алюминиевые сплавы) мощностью в диапазонах 1–8 и 10–15 кВт (YLS-CUT Series). Кроме того, на стенде компании IPG Laser был представлен роботизированный комплекс для лазерной сварки с использованием волоконного лазера мощностью 10 кВт.

Компания TRUMPF традиционно представляла комплексы оборудования для реализации различных лазерных технологий, а именно роботизированный комплекс для лазерной сварки TruLaser Weld 5000 (на основе дискового лазера мощностью 5 кВт), автоматизированный комплекс для сварки, наплавки и аддитивных технологий TruLaser Gell 3000 (на основе лазера TruDisc 3001 мощностью 3 кВт) и автоматизированный лазерный комплекс для резки и поверхностной обработки металлов TruMatic 1000 (на основе лазера мощностью 1 кВт).

Особый интерес вызвала экспозиция компании Laserline, которая представила новое поколение мощных диодных лазеров с достаточно высоким качеством пучка, что было достигнуто за счет использования специального устройства — преобразователя пучка. Это компактные лазеры LDM Series мощностью 1–6 кВт (параметр пучка 100 мм-мрад), лазеры LDF Series мощностью 20 кВт (30–200 мм-мрад) и LDF Series с Beam Converter, мощностью 4–6 кВт (параметр пучка 4–8 мм-мрад).

Кроме лазерного оборудования компания Laserline представила широкую гамму лазерных технологий. Это лазерная сварка металлов, включая сварку алюминиевых сплавов, а также сварку разнотолщинных изделий (Tailored blanks), пайка, закалка/термическая обработка, наплавка, аддитивные технологии и лазерная сварка пластмасс.

Единственной компанией, которая представила лазерное оборудование на основе CO₂-лазера, была компания JENOPTIK. Было представлено специализированное оборудование для использования в автомобильной промышленности (производство тонкостенных металлических изделий, внешних и внутренних деталей из пластика, в т.ч. усиленного углеволокном и др.).

Кроме лазеров и лазерных комплексов на выставке были представлены отдельные компоненты лазерного оборудования — в первую очередь, специализированные лазерные головки для реализации различных технологических процессов. Компании Precitec и HIGHYAG представили широкий спектр лазерных головок для резки, сварки, наплавки и аддитивных технологий при мощности лазерного излучения в диапазоне 6–20 кВт и длине волн 900–1060 нм (для диодных лазеров) и 1025–1080 нм (для YAG, волоконных и дисковых лазеров). Представленные образцы снабжены коллиматором пучка, транспортируемого от источника излучения по гибкому

волокну, соответствующими соплами и системами подачи присадочной проволоки и наплавляемого порошкового материала. Головки имеют возможность регулировки фокусного расстояния, а также снабжены системами сканирования пучка.

Электронно-лучевые технологии. Широко были представлены и электронно-лучевые технологии. Так, электронно-лучевая сварка была представлена на стендах 23 компаний, электронно-лучевая пайка — 5 компаний, среди которых такие, как Pro-Beam systems, Techmeta, Camdridge Vacuum Engineering и др. Промышленное электронно-лучевое оборудование было представлено только в виде проспектов ввиду его больших габаритов.

Технологии и оборудование дуговой сварки (Д.В. Коваленко, С.Ю. Максимов). Отмечены новые возможности процессов ТИГ и плазменной сварки. Технологиями плазменной сварки активно занимаются около 200 компаний. Инновационные технологии продемонстрировали компании Fronius (процесс Arc TIG) и Kjellberg (InFocus), направленные на увеличение глубины проплавления при высокой производительности сварки. Компания Fronius продемонстрировала еще ряд инновационных процессов, связанных с программированием дугового оборудования и совершенствованием гибридных процессов.

Вызывали интерес и источники питания для высокочастотной сварки. Их предлагают компании из Германии, Канады, Великобритании, Японии. Основные их преимущества при использовании: узкая контрагированная дуга, маленькое пятно, минимальное тепловложение и узкая зона термического влияния. Частота сварочного тока находится в пределах 10–20 кГц.

Для процессов плазменной сварки предлагались источники питания фирм: Kjellberg, Megatronik, EWM и др. Характерно, что крупные фирмы-производители сварочного дугового оборудования предлагают роботизированные комплексы, в которых часто сочетаются комплектующие узлы различных фирм.

Определенный интерес вызывал дуговой процесс под названием D-Arc (компания OTC Daihen Europe). В этом процессе дуга «горит» непосредственно в расплаве (погруженная дуга). Это стало возможным благодаря высокоскоростному вращению импульсной дуги с частотой около 1000 Гц.

Современные источники питания. Для этого вида оборудования характерно:

- цифровое управление формой сигнала. Обеспечивается контроль дуги и сварочной ванны, отсутствие брызг, высокая производительность. Могут работать с цифровым подающим механизмом для точного управления параметрами сварки. Пригодны для автоматической и роботизированной сварки;

- точное управление импульсным током. С помощью высокоскоростных микросхем точно контролируют форму импульса тока во время сварки, что гарантирует совпадение фактической формы сигнала выходного тока с необходимой;
- оптимизированные параметры импульса. Это облегчает настройку параметров сварки и обеспечивает согласованность процесса сварки для оптимизации параметров импульса, связанных со средним сварочным током, путем непрерывного тестирования и сравнения с базой данных сварки;
- идеальное зажигание. Специальное четырехступенчатое управление последовательностью сварки повышает энергию во время зажигания дуги и позволяет избежать дефекта прожигания в начале сварки;
- сварочный процесс без брызг. Совместная работа высокоскоростных процессоров позволяет контролировать скорость подачи проволоки, сварочный ток и напряжение сварки, что обеспечивает точный контроль и достижение результата без брызг, значительно улучшает качество и эффективность сварки;
- интеллектуальная база технологий. После оптимизации параметров импульса для различных материалов, формируется база данных сварочных технологий. Во время сварочного процесса скорость плавления сварочной проволоки контролируется путем управления амплитудой и частотой импульса;
- функция контроля длины дуги. Цифровой контроллер длины дуги выполняет постоянный мониторинг процесса дуговой сварки. При отклонении длины дуги, обнаруженном в течение доли секунды, обеспечивает постоянство длины дуги и стабильный процесс сварки.

Наплавка (А.П. Жудра). Наплавка была представлена рядом фирм, крупнейшими из которых являются Durum verschleiss-schutz, Corodur fulldraht, Oerlikon schweibtechnik, Messer group (Германия), Welding alloys group (Англия), Special metals' welding product, Postle industries (США), Gedik Welding (Турция), Cerpro intrnational (Нидерланды) и др. Стенды этих фирм отличались многообразием наплавочных материалов в виде электродов, порошковых и сплошных проволок, лент, разнообразных типов порошков. В меньшей степени были представлены детали и образцы наплавленного металла.

Особо следует отметить существенное уменьшение на выставке экспозиций фирм-производителей биметаллических листов. Такие известные фирмы как Castolin (Швейцария), Vautid и Eipa (Германия), АОО (Австралия), на долю которых приходится львиная доля производства биметаллических листов, впервые за много лет вообще не при-

мали участие в выставке. По этой тематике была представлена фирма Ergotem (Греция), которая производит биметаллические листы максимальным размером 2000x4000 мм с толщиной наплавки до 18 мм. Широкую номенклатуру материалов для износостойкой наплавки продемонстрировала фирма Durum (Германия), укрепившая свои позиции в производстве плавящихся карбидов вольфрама с мелкими гранулами сферической формы, которые нашли широкое применение для РТА-процесса. Биметаллический лист, наплавленный этим способом композиционным сплавом с NiFe-матрицей, упрочненной сферическими карбидами вольфрама, предназначен для работы в сверхэкстремальных условиях. Наряду с плазменно-порошковой наплавкой она широко рекламирует лазерную наплавку с подачей в зону сварочной ванны присадочных материалов в виде порошка или порошковой проволоки. Лазерную наплавку с подачей порошка и комплекс оборудования для этой цели продемонстрировали фирмы GTV verschleiss-schutz, Messer group (Германия) и ряд др.

Большой спектр материалов и технологических процессов для износостойкой наплавки деталей горнодобывающей промышленности доменного и прокатного производства было представлено на стенде фирмы Corodur fulldraht (Германия).

Большим разнообразием материалов отмечалась экспозиция фирмы Oerlikon metco (США). Для термического напыления и наплавки она разработала порошки на базе алюминия, кобальта, никеля, меди, железа и пр. Кроме того, поскольку фирма Woka (Германия) вошла в состав Oerlikon, был представлен широкий спектр порошков на базе вольфрама: агломерированные, макрокристаллические, плавящиеся – дробленые, плавящиеся – сферические.

Вызывал интерес продукция фирмы Special metals welding products company (США). Это электроды, порошковая и сплошная проволока, прутки и ленты для наплавки и сварки широкой номенклатуры спецсплавов. Фирма Postle industries (США) представила электроды, порошковые проволоки и порошки для износостойкой наплавки деталей



Стенд компании «ПлазмаТек»



Гибридные технологии наступают

в горнорудной промышленности. Она разработала оригинальный трубчатый сварочный электрод диаметром от 6,0 до 12 мм, представляющий собой трубку, покрытую обмазкой и внутри заполненную шихтовыми материалами в виде сплавов различных карбидов. Лазерная наплавка за последнее десятилетие прочно укоренилась в сварочном производстве.

Следует отметить также, что на выставке было представлено большое количество универсального сварочного оборудования роботизированных комплексов, полуавтоматов и источников питания. Выставка представляла большой интерес для специалистов. Не меньший интерес был проявлен и к стенду ИЭС им. Е. О. Патона. В частности, ряд специалистов в области наплавки проявили заинтересованность к технологии наплавки биметаллических листов порошковой лентой, микроплазменной наплавке, карбиду вольфрама сферической формы и другим разработкам Института.

Интересно мнение директора фирмы «Плазма-Мастер» (Киев) *А. И. Сома*. По его мнению, плазмотроны «Плазма-Мастер» для плазменно-порошковой наплавки заинтересовали зарубежных специалистов, особенно те, которые предназначены для наплавки внутренних поверхностей. Были проведены переговоры по заключению контрактов на поставку оборудования в Индию, Турцию и Австралию. Есть все основания утверждать, что выпускаемое оборудование конкурентоспособно на мировом рынке.

Сварочные материалы (*А. А. Полишко*). На выставке был представлен широчайший спектр всех видов сварочных, присадочных, наплавочных материалов, материалов для резки, напыления, пайки. В этой связи характерны высказывания трех руководителей украинских компаний-производителей сварочных материалов — *П. Н. Погребного* (ООО «Сумы-Электрод»), *Ю. Н. Омельчука* (ПАО «ПлазмаТек») и *А. Н. Алимова* (ООО «Витаполис»).

П. Н. Погребной. Участие в выставке позволило установить контакты с потенциальными потребителями выпускаемых на предприятии материалов, познакомиться с поставщиками сырья для про-



Стенд Немецкого сварочного общества

изводства материалов и соотнести уровень производимых у себя материалов с лучшими на рынке. Электроды компании ООО «Сумы-Электрод» вполне конкурентоспособны и мы намерены прилагать усилия для продвижения их на международный рынок. На выставке были проведены плодотворные переговоры с потенциальными потребителями нашей продукции из Испании, Словении, Чехии, Польши, Германии и др. стран Евросоюза.

А. Н. Алимов. Если компания строит долгосрочные планы, в подобных выставках надо участвовать, чтобы объективно определить свое место на рынке. При этом следует стремиться к тому, чтобы вся выпускаемая продукция соответствовала уровню ведущих мировых производителей, иначе нет смысла начинать организовывать свое производство. Сегодня в Украине есть огромный нереализованный потенциал для работы на мировом рынке сварочных материалов. Качество продукции нашего производства ничем не отличается от известных производителей, но нас просто никто не знает. Стратегия, ориентированная на выпуск продукции в соответствии со стандартами EN ISO и AWS, а не ГОСТ, является единственно верной.

Ю. Н. Омельчук. В секторе производства сварочных материалов на западном рынке четко прослеживается тенденция к сокращению доли производства покрытых электродов и расширению объемов производства проволоки сплошного сечения и порошковых проволок, особенно, малого диаметра. Это обусловлено расширением применения механизированных, автоматизированных и роботизированных процессов сварки во многих отраслях промышленности.

В заключение было отмечено, что участие специалистов Института в крупнейшей сварочной выставке Германии было полезно и уже необходимо начинать подготовку к следующей выставке «Schweissen & Schneiden», которая состоится 13–17 сентября 2021 г. в Эссене, Германия.

*Материал подготовили
А. Т. Зельниченко, В. Н. Липодаев*

● #1067

Календарь выставок на 2018 г.

Россия

Дата	Место проведения	Название выставки	Тематика	Организатор, контакты
30.01-01.02	Красноярск, МВДЦ «Сибирь»	Металлообработка и сварка – 2018	Выставка машиностроения, металлообработки, литья, сварки	МВДЦ «Сибирь» www.krasfair.ru
14.02-16.02	Набережные Челны, ВЦ «Экспо-Кама»	XIII Камский промышленный форум – 2018	XIII специализированная выставка с международным участием	ООО «Экспо-Кама» www.kampromforum.ru
27.02-01.03	Уфа, ВДНХ-ЭКСПО	Российский промышленный форум	Специализированная промышленная выставка машиностроения, сварки	ООО «Башкирская выставочная компания» www.bvkexpo.ru
20.03-22.03	Санкт-Петербург, КВЦ «ЭкспоФорум»	Петербургская техническая ярмарка	Металлургия. Литейное дело, Металлообработка, Машиностроение	ГП «РЕСТЕК®» www.ptfair.ru
20.03-22.03	Екатеринбург, МВЦ «Екатеринбург-Экспо»	Металлообработка. Сварка – Урал 2018	Специализированная выставка современных технологий, оборудования, материалов для сварочного производства	ВО «Пермская ярмарка» www.expometperm.ru
27.03-30.03	Новосибирск, МВК «Новосибирск Экспоцентр»	Mashex Siberia – 2018	Выставка оборудования для металлообработки и сварки	Компания «ИТЕ Сибирь» www.mashex-siberia.ru
17.04-19.04	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Экспо Контроль – 2018	10-я специализированная выставка методов и технологий измерений, испытаний и контроля качества	Экспоцентр на Красной Пресне www.rual-interex.ru
24.04-27.04	Санкт-Петербург, КВЦ «ЭкспоФорум»	Сварка/Welding 2018	19-я Международная выставка по сварке, резке и родственными технологиям	Компания «ЭкспоФорум-Интернэшнл» www.expoforum-center.ru
14.05-18.05	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлообработка – 2018	19-я международная специализированная выставка «Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности»	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
29.05-01.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлургия-Литмаш – 2018	Международная выставка машин, оборудования, технологий и продукции металлургической промышленности	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
29.05-01.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлоконструкции – 2018	Специализированная выставка и дискуссионная площадка участников рынка металлоконструкций РФ	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
26.06-28.06	Саратов, Манеж Дворца спорта	Техно Экспо – 2018	17-я специализированная выставка машиностроения, металлообработки, сварки	ВЦ «Софит-Экспо» www.totalexpo.ru
02.10-04.10	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Термообработка – 2018	12-я Международная специализированная выставка технологий и оборудования для термообработки	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
16.10-19.10	Москва, КВЦ «Сокольники»	Weldex/Россварка – 2018	18-я Международная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий	Выставочный холдинг МВК Компания «Элсвар» www.weldex.ru
22.10-25.10	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	ТЕХНОФОРУМ-2018	Международная специализированная выставка «Оборудование и технологии обработки конструкционных материалов»	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
23.10-25.10	Москва, МВЦ «Крокус Экспо»	Mashex Moscow	21-я Международная выставка оборудования для обработки металлического профиля, труб и производства металлоизделий	МВЦ «Крокус Экспо» www.crocus-expo.ru www.mashex.ru
13.11-16.11	Москва, ВДНХ	Металл-Экспо – 2018	24-я Международная промышленная выставка	www.metal-expo.ru
20.11-22.11	Екатеринбург, МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»	Сварка. Контроль и диагностика – 2018	18-я специализированная выставка	ВО «Уральские выставки» т.: +7 343 385 35 35 www.uv66.ru
28.11-30.11	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Российский промышленник – 2018	Международный форум	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
05.12-07.12	Казань, ОАО «Казанская ярмарка»	Машиностроение. Металлообработка. Казань	18-я Международная специализированная выставка	ОАО «Казанская ярмарка» www.expomach.ru
05.12-07.12	Казань, ОАО «Казанская ярмарка»	TechnoСварка – 2018	Специализированная выставка	ОАО «Казанская ярмарка» www.svarkaexpo.ru

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Название книги Цена (руб.)*

- В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко.**
Кислородная резка и внепечной нагрев в тяжелом машиностроении. 2017.— 368 с. 600
- В. И. Лакомский, М. А. Фридман.**
Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами. 2004.— 196 с. 400
- А. А. Кайдалов.** Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Издание 2-е, переработанное и дополненное. 2004.— 260 с. 500
- В. Я. Кононенко.** Газовая сварка и резка. 2005.— 208 с. 400
- С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин.** Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. 2006.— 368 с. 500
- А. Я. Ищенко и др.** Алюминий и его сплавы в современных сварных конструкциях. 2006.— 112 с. с илл. 400
- П. М. Корольков.** Термическая обработка сварных соединений. 3-е изд., перераб. и доп. 2006.— 176 с. 400
- А. Е. Анохов, П. М. Корольков.** Сварка и термическая обработка в энергетике. 2006.— 320 с. 500
- Г. И. Лащенко.** Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. 2006.— 384 с. 500
- А. А. Кайдалов.** Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов. 2007.— 456 с. 500
- П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев.** Плазменная наплавка. 2007.— 292 с. 500
- А. Г. Потапьевский.** Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. 2007.— 192 с. 500
- Г. И. Лащенко, Ю. В. Демченко.** Энергосберегающие технологии послесварочной обработки металлоконструкций. 2008.— 168 с. 400
- Б. Е. Патон, И. И. Заруба и др.** Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги. 2008.— 248 с. 400
- З. А. Сидлин.** Производство электродов для ручной дуговой сварки. 2009.— 464 с. 600
- В. Н. Радзиевский, Г. Г. Ткаченко.** Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении. 2009.— 400 с. 500
- В. Н. Корж, Ю. С. Попиль.** Обработка металлов водородно-кислородным пламенем. 2010.— 194 с. . 400
- Нормирование расхода покрытых электродов при ручной дуговой сварке и наплавке.**
Нормирование расхода сварочных материалов при сварке в углекислом газе и его смесях.
Нормирование расхода сварочных материалов при сварке под флюсом.
Справочное пособие. 2008.— 68 – 68 – 40 с. 200
- ** Г. И. Лащенко.** Современные технологии сварочного производства. 2012.— 720 с. 300

* Цены на книги указаны без учета стоимости доставки.

** Продается только в электронной версии.

Электронные версии книг стоят в два раза дешевле.

Тарифы на рекламу в 2018 г.

На внутренних страницах

Площадь	Размер, мм	Стоимость, руб.*
1 полоса	210×295	25000
1/2 полосы	180×125	13000
1/4 полосы	88×125	7000

На страницах основной обложки

Страница	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 (первая)	215×185	50000
4 (последняя)	210×295 (после обрезки 205×285)	36000
2		33000
3		30000

(* все цены в руб. с НДС)

Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 12000 руб.

Прогрессивная система скидок

Количество подач	2	3	4	5	6
● Скидка	5%	10%	13%	17%	20%

Требования к оригинал-макетам

Для макетов «под обрез»: формат издания после обрезки 205×285 мм; до обрезки 210×295 мм; внутренние поля для текста и информативных изображений не менее 15 мм.
Файлы принимаются в форматах: PDF, AI, INDD, TIF, JPG, PSD, EPS, CDR, QXD с прилинкованными изображениями и шрифтами. Изображения должны быть качественными, не менее 300 dpi, цветовая модель CMYK, текст в кривых, если нет шрифтов. Размеры макета должны точно соответствовать указанным редакцией.

Зам. гл. ред., рук. ред., **В. Г. Абрамишвили**, к. ф.-м. н.:
тел./факс: +380 44 200-80-14, моб.: +380 50 413-98-86,
моб.: +380 95 146-06-91
e-mail: welder.kiev@gmail.com

Ред., зам. рук. ред. **О. А. Трофимец**:
тел./факс: +380 44 200-80-18
e-mail: trofimits.welder@gmail.com

www.welder.stc-paton.com

Подписка-2018 на журнал «Сварщик в России»

Подписной индекс **20994**
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **E20994**
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

Подписной индекс **K0103**
в каталоге российской прессы
«Почта России» — персональная подписка

На электронную версию журнала можно подписаться в редакции или на сайте:
www.welder.stc-paton.com (скидка 50 %)